ISSN 0181-0642

BULLETIN du MUSÉUM NATIONAL d'HISTOIRE NATURELLE

PUBLICATION TRIMESTRIELLE

SECTION C

sciences de la terre

paléontologie

géologie

minéralogie

4e SERIE T. 8 1986 N° 1

Janvier-Mars 1986

BULLETIN

du

MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

57, rue Cuvier, 75005 Paris

Directeur : Professeur E. R. BRYGOO

Section C : SCIENCES DE LA TERRE

Directeur : L. GINBURG.
Rédactrice : P. DUPÉRIER.
Comité scientifique : J. AUBOUIN (Paris), R. G. C. BATHURST (Liverpool), W. H. BERGER (La Jolla), Y. COPPENS (Paris), B. COX (Londres), D. S. CRONAN (Londres), J. FABRIÈS (Paris), H. DE LUMLEY (Paris), W. R. RIEDEL (La Jolla).

Un Comité de rédaction examine tous les manuscrits reçus et nomme des rapporteurs.

Fondé en 1895, le *Bulletin du Muséum d'Histoire naturelle* est devenu à partir de 1907 : *Bulletin du Muséum national d'Histoire naturelle*. Des travaux originaux relatifs aux diverses disciplines scientifiques représentées au Muséum y sont publiés. Il s'agit essentiellement d'études de Systématique portant sur les collections conservées dans ses laboratoires, mais la revue est également ouverte, depuis 1970 surtout, à des articles portant sur d'autres aspects de la Science : biologie, écologie, etc.

La *1re série* (années 1895 à 1928) comprend un tome par an (t. 1 à 34), divisé chacun en fascicules regroupant divers articles.

La *2e série* (années 1929 à 1970) a la même présentation : un tome (t. 1 à 42), six fascicules par an.

La *3e série* (années 1971 à 1978) est également bimestrielle. Le *Bulletin* est alors divisé en cinq Sections et les articles paraissent par fascicules séparés (sauf pour l'année 1978 où ils ont été regroupés par fascicules bimestriels). Durant ces années chaque fascicule est numéroté à la suite (nos 1 à 522), ainsi qu'à l'intérieur de chaque Section, soit : Zoologie, nos 1 à 356 ; Sciences de la Terre, nos 1 à 70 ; Botanique, nos 1 à 35 ; Écologie générale, nos 1 à 42 ; Sciences physico-chimiques, nos 1 à 19.

La *4e série* débute avec l'année 1979. Le *Bulletin* est divisé en trois Sections : A : Zoologie, biologie et écologie animales ; B : Botanique, biologie et écologie végétales, phytochimie (fusionnée à partir de 1981 avec la revue *Adansonia*) ; C : Sciences de la Terre, paléontologie, géologie, minéralogie. La revue est trimestrielle ; les articles sont regroupés en quatre numéros par an pour chacune des Sections ; un tome annuel réunit les trois Sections.

S'adresser :

— pour les **échanges**, à la Bibliothèque centrale du Muséum national d'Histoire naturelle, 38, rue Geoffroy Saint-Hilaire, 75005 Paris, tél. 43-31-71-24 ; 43-31-95-60.
— pour les **abonnements et achats au numéro**, au Service de vente des Publications du Muséum, 38, rue Geoffroy Saint-Hilaire, 75005 Paris, tél. 43-31-71-24 ; 43-31-95-60. C.C.P. Paris 9062-62.
— pour tout ce qui concerne la **rédaction**, au Secrétariat du Bulletin, 57, rue Cuvier, 75005 Paris, tél. 45-87-19-17.

Abonnements pour l'année 1986 (Prix h.t.)

ABONNEMENT GÉNÉRAL : 1320 F.
SECTION A : Zoologie, biologie et écologie animales : 820 F.
SECTION B : Botanique, *Adansonia* : 380 F.
SECTION C : Sciences de la Terre, paléontologie, géologie, minéralogie : 260 F

Numéro d'inscription à la Commission paritaire des publications et agences de presse : 1405 AD

BULLETIN DU MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE
4e série, **8**, 1986, section C (Sciences de la terre, Paléontologie, Géologie, Minéralogie), n° 1

SOMMAIRE — *CONTENTS*

A. LAURIAT-RAGE. — Les Bivalves du Pliocène de Normandie..... 3

Bivalvia from the Pliocene of Normandie.

Y. DAUPHIN. — Microstructure des coquilles de Céphalopodes : la partie apicale de *Belopterina* (Coleoidea)..... 53

Microstructure of the Cephalopoda shells : the apical part of Belopterina (*Coleoidea*).

S. WENZ et A. W. A. KELLNER. — Découverte du premier Ionoscopidae (Pisces, Halecomorphil) sud-américain, *Oshunia brevis* n. g., n. sp., dans le Crétacé inférieur de la Chapada do Araripe (nord-est du Brésil)..... 77

Discovery of the first south american Ionoscopidae (Pisces, Halecomorphi), Oshunia brevis *n. g., n. sp., from the lower Cretaceous of the Chapada do Araripe (northeastern Brazil)*.

M. CHRISTOPHE MICHEL-LÉVY. — Étude comparative des chondrites carbonées d'Allende et de Léoville. I. Minéralogie, pétrographies, chimie..... 89

Comparative study of the Allende and Leoville carbonaceous chondrites.

Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris, 4e sér., **8**, 1986,
section C, n° 1 : 3-51.

Les Bivalves du Pliocène de Normandie

par Agnès LAURIAT-RAGE

Résumé. — Cette étude des Bivalves du Pliocène de Normandie est la première d'une série de quatre articles traités par des auteurs différents. Les prochains articles concerneront les Foraminifères (Y. LE CALVEZ), les Bryozoaires (É. BUGE), les Gastéropodes (Ph. BRÉBION). Trente gisements (sondages et forages) allant jusqu'à 93 m de profondeur, répartis dans les bassins de Carentan (26) et de Saint-Sauveur-le-Vicomte (4), ont été retenus et permettent de distinguer trois subdivisions principales dans le Pliocène : Pliocène I, à caractère chaud (deux niveaux), Pliocène II, intermédiaire, pauvre en fossiles, mais représenté dans les deux bassins (un niveau), Pliocène III, à cachet plus nordique (deux niveaux qui se caractérisent par des associations fauniques bien différenciées). L'étude des Bivalves porte sur onze gisements ; quarante-six prélèvements (ou échantillons) de sondages et forages ont été examinés en détail. *Megacardita striatissima* et *Astarte (A.) omalii omalii* font l'unité du Pliocène de la Manche. Le Pliocène I (débutant à environ — 5,3 M. A.) était déjà connu en Haute-Normandie (Fécamp) et a été retrouvé à la base de la coupe de la Gathe près Saint-Sauveur-le-Vicomte. La plupart des nouveaux gisements se répartissent dans le Pliocène III (avant et après — 3 M. A.), anciennement connu en Basse-Normandie à Gourbesville et tout récemment découvert à Cricqueville-en-Bessin (niveau inférieur) ; le Bosq d'Aubigny correspond au niveau supérieur. *Yoldia (Y.) oblongoides* du Plio-Pléistocène anglais et hollandais, ainsi que *Nucula (N.) tenuis* et *Nuculana (N.) minuta*, immigrants arctiques, caractérisent le niveau supérieur. Le passage Plio-Pléistocène est indiqué par la présence simultanée de *Nuculana (L.) pella*, originaire du Pliocène méditerranéen et relique dans ce niveau en Normandie, et *Acila (T.) cobboldiae*, qui se prolonge ensuite pendant tout le Pléistocène inférieur.

Abstract. — This study on Bivalvia is the first of a series of articles dealing with the marine Pliocene faunas from Normandie, north-western France (further papers will be on the Foraminifera by Y. LE CALVEZ, the Bryozoa by É. BUGE and the Gastropoda by Ph. BRÉBION). Thirty localities (that is drillings, one of them having reached a depth of 93 m) from the basins of Carentan (26 localities) and Saint-Sauveur-le-Vicomte (4 localities) have been selected and the study of three-fold subdivisions within the Pliocene : Pliocene I of a warm pattern (with two levels), Pliocene II of an intermediate pattern (with only one level), Pliocene III of a more northern pattern (with two levels equated with two episodes separated by a climatic change corresponding to an aggravation of the climatic degradation). Each subdivision is characterized by a faunal assemblage. Eleven localities are concerned by this study on Bivalvia. Forty six samples from drillings come from these localities and have been thoroughly studied. *Megacardita striatissima* and *Astarte (A.) omalii omalii* constitute a unifying element of the Channel area Pliocene. The Pliocene I, the base of which is dated about — 5,3 M. Y., was already known in Haute-Normandie, at Fécamp ; it has been found in Basse-Normandie, in the lower beds of the La Gathe outcrop, near Saint-Sauveur-le-Vicomte. Although poor in localities and faunas, the Pliocene II has been found in the two basins of Basse-Normandie. Most of the newly discovered localities belong to the Pliocene III. The lower level of this subdivision is anterior to the climatic change ; it was previously known in Basse-Normandie at Gourbesville and in a recently discovered locality (Cricqueville-en Bessin) ; the upper level has been found at Le Bosq d'Aubigny, in Basse-Normandie too. *Yoldia (Y.) oblongoides*, previously known only in the English and Dutch Plio-Pleistocene, as well as *Nucula (N.) tenuis* and *Nucula (N.) minuta*, two arctic immigrants, are characterised of the upper level. The Plio-Pleistocene transition is indicated by the simultaneous occurence of *Nucula (L.) pella* (immigrant from the mediterranean Pliocene and a relict here) and *Acila (T.) cobboldiae* that have survived in the early Pleistocene.

Mots-clés. — Bivalves — Pliocène — Pléistocène — Normandie — Stratigraphie — Paléobiogéographie.

A. LAURIAT-RAGE, *Institut de Paléontologie et UA 12 du CNRS, 8, rue Buffon, 75005 Paris.*

AVERTISSEMENT

Ce travail est le premier d'une série de publications sur les faunes marines récemment découvertes dans le Pliocène de Normandie (fig. 1). En effet, seront traités les groupes zoologiques suivants : Foraminifères (Y. LE CALVEZ), Bryozoaires (É. BUGE), Bivalves (A. LAURIAT-RAGE), Gastéropodes (Ph. BRÉBION). L'origine de ces faunes revient au Professeur Cl. PAREYN qui a entrepris plusieurs campagnes de sondages et forages (BRGM, SGEI, etc.), de 1965 à 1984, dans le cadre de la recherche de l'eau dans le seuil du Cotentin. Ces nombreux sondages et forages ont conduit à une connaissance géologique approfondie de la région, révélant notamment l'existence de séries fossilifères de grande épaisseur et mettant par là en évidence une importante activité néotectonique au Pliocène et au Pléistocène (PAREYN, 1980). Ainsi se trouvent bouleversées les conceptions que l'on avait jusqu'alors sur la géologie de cette région (PAREYN, 1984). La richesse en fossiles des nombreux prélèvements (échantillons) nous a permis de réaliser une vaste étude paléontologique sur les faunes de la Manche et nous remercions très vivement le Professeur Cl. PAREYN qui nous a confié le matériel, préparé dans son laboratoire.

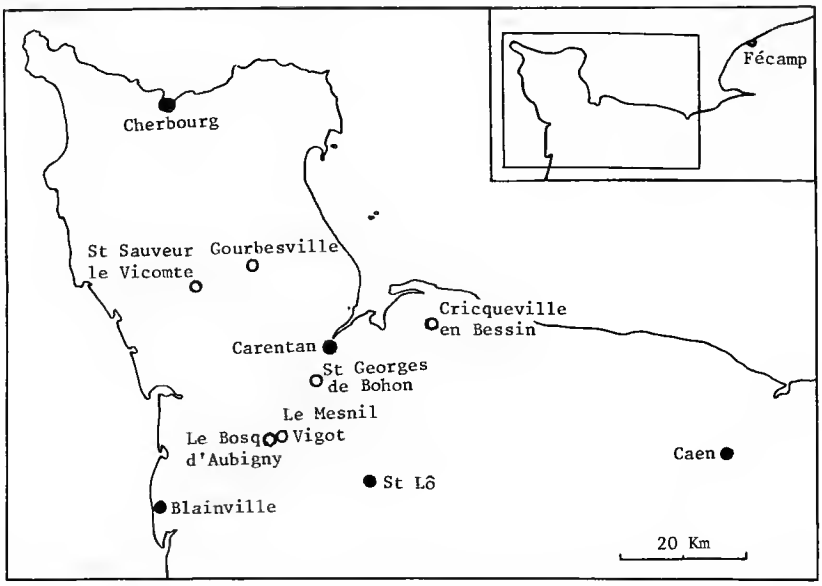


FIG. 1. — Carte générale de la Basse-Normandie ; en cartouche, situation de Fécamp en Haute-Normandie par rapport à la région étudiée.

Nous étudierons successivement le Pliocène (les quatre notes annoncées) et le Pléistocène (quatre autres notes par les mêmes auteurs). A la fin de chaque série, nous publierons une note de synthèse sur le Pliocène et ensuite sur le Pléistocène. Par ailleurs, certains aspects particuliers pourront être traités individuellement ou en collaboration.

Devant l'abondance des sondages et forages, nous avons été amenés à faire une sélection des séquences les plus épaisses et (ou) les plus riches en fossiles (microfaune et macrofaune). Certaines séquences présentent un grand intérêt, car elles recoupent des époques différentes, Miocène et Pliocène ou encore Pliocène et Pléistocène, ces dernières montrant nettement le passage Plio-Pléistocène. Nous avons choisi de classer dans l'étude du Pliocène certains gisements qui se trouvent à la limite des Pliocène et Pléistocène, comme l'attestent les Foraminifères (Y. Le Calvez, note en préparation). Le cadre stratigraphique retenu est celui donné à la fois par les résultats des recherches géologiques (superposition de plusieurs niveaux à la Gathe, par exemple) et ceux fournis par la datation des terrains au moyen des faunes, l'ensemble aboutissant naturellement à la reconnaissance et à la définition de formations (nombreux échanges de vue entre participants à cette étude et Pareyn, 1984, tabl. p. 222).

En ce qui concerne le Pliocène, sujet de la présente note, la plupart des formations géologiques ont été également reconnues par les Foraminifères qui sont les plus nombreux et qui présentent des associations caractéristiques (Y. Le Calvez, note en préparation) et, à un degré moindre parfois, par la macrofaune. Nous proposons, d'après les faunes, et en corrélation avec les étages de la chronologie anglaise, un découpage du Pliocène en trois parties (tabl. I).

Tableau I. — Position stratigraphique des principales localités du Néogène et du Pléistocène inférieur de Normandie.

EPOQUES		BASSE-NORMANDIE	HAUTE-NORMANDIE	CHRONOLOGIE ANGLAISE
PLEISTOCENE		St-Sauveur-de-Pierrepont		Icénien Newbournien
passage PLIO-PLEISTOCENE				Waltonien
PLIOCENE	PLIOCENE III	le Bosq d'Aubigny Cricqueville-en-Bessin (= Courbesville)		Gedgravien
	PLIOCENE II	la Brumannèrie		
	PLIOCENE I	la Gathe (Selsouëf) les Bohons	Fécamp, Valmont	
MIOCENE		Bléhou, Picauville		

On appellera gisements les différents points de sondages ou forages. Les gisements pliocènes retenus (tous situés dans le département de la Manche) sont au nombre de trente, vingt-six dans le bassin de Carentan (fig. 2) et quatre dans le bassin de Saint-Sauveur-le-Vicomte (fig. 3). Les gisements seront donc numérotés de 1 à 30, numéros que nous utiliserons, pour simplifier, dans le texte ; mais ces gisements portent en plus, pour mémoire, entre parenthèses, un numéro qui correspond à leur dénomination primitive, numéro précédé d'une lettre indiquant le mode d'extraction des sédiments fossilifères (S = sondage, T = sondage à la tarière, F = forage). La numérotation de 1 à 30 suit un regroupement par commune ; dans le titre, chaque gisement est complété par le nom d'un lieu-dit ou de toute autre précision géographique. Nous donnons ici la liste des gisements, ainsi que la profondeur des sondages ou forages et le niveau des couches étudiées :

Bassin de Carentan (Manche)

— Gisement n° 1 (= T. 47), Auxais (ruisseau Bucaille) ; profondeur : 17 m ; niveau de la couche étudiée : de 0 à 17 m ; (BRGM).

— Gisement n° 2 (= T. 56), Auxais (église ruinée) ; profondeur : 30 m ; niveau de la couche étudiée : de 0 à 30 m ; (BRGM).

— Gisement n° 3 (= S. 12), Raids (le Clos Castel) ; profondeur : 70 m ; niveau de la couche étudiée : de 1 à 70 m ; (SGEI).

— Gisement n° 4 (= T. 32), Raids (village des Gardinières) ; profondeur : 30 m ; niveau de la couche étudiée : de 0 à 30 m ; (BRGM).

— Gisement n° 5 (= T. 59), Marchésieux (la Varde 1) ; profondeur : 10 m ; niveau de la couche étudiée : de 1,50 à 10 m ; (BRGM).

— Gisement n° 6 (= S.15), Marchésieux (la Varde 2) ; profondeur : 92 m ; niveau de la couche étudiée : de 1 à 92 m ; (SGEI).

— Gisement n° 7 (= T. 60), Marchésieux (Champeaux) ; profondeur : 7,50 m ; niveau de la couche étudiée : de 1,50 m à 7,50 m ; (BRGM).

— Gisement n° 8 (1976-1), Marchésieux (le Bosq d'Aubigny) ; profondeur : 78,50 m ; niveau de la couche étudiée : de 40,10 à 78,50 m ; (SGEI).

— Gisement n° 9 (= S. 17), Remilly-sur-Lozon (l'Angle) ; profondeur : 93 m ; niveau de la couche étudiée : de 0 à 93 m ; (SGEI).

— Gisement n° 10, Remilly-sur-Lozon (l'Angle B) ; profondeur : 29 m ; niveau de la couche étudiée : de 11,50 à 29 m ; (SGEI).

— Gisement n° 11 (= S. 23), Remilly-sur-Lozon (château ruiné de Montfort) ; profondeur : 78 m ; niveau de la couche étudiée : de 24 à 75 m ; (SGEI).

— Gisement n° 12 (= S. 22), le Mesnil-Vigot (la Butte Saint-Clair) ; profondeur : 33 m ; niveau de la couche étudiée : de 3 à 12 m ; (SGEI).

— Gisement n° 13 (= S. 11), Carentan (le Mesnil) ; profondeur : 56 m ; niveau de la couche étudiée : de 4 à 56 m ; (SGEI).

— Gisement n° 14 (= S. 7), Carentan (Saint-Julien 1) ; profondeur : 34 m ; niveau de la couche étudiée : de 4 à 20 m ; (SGEI).

— Gisement n° 15 (= T. 64), Carentan (Saint-Julien 2) ; profondeur : 15 m ; niveau de la couche étudiée : de 1,50 à 15 m ; (BRGM).

— Gisement n° 16 (= T. 67), Saint-Georges-de-Bohon (réserve de chasse de l'Ermitage 1) ; profondeur : 16 m ; niveau de la couche étudiée : de 4,50 m à 16 m ; (BRGM).

— Gisement n° 17 (= S. 6), Saint-Georges-de-Bohon (réserve de chasse de l'Ermitage 2) ; profondeur : 49 m ; niveau de la couche étudiée : de 6 à 49 m ; (SGEI).

— Gisement n° 18 (= S. 20, ex F. 1), Saint-Georges-de-Bohon (réserve de chasse de l'Ermitage 3) ; profondeur : 53 m ; niveau de la couche étudiée : de 8 à 53 m ; (SGEI).

— Gisement n° 19 (= T .57), Saint-Georges-de-Bohon (la Meslerie) ; profondeur : 12 m ; niveau de la couche étudiée : 1,50 à 12 m ; (BRGM).

— Gisement n° 20 (= T. 55), Saint-Georges-de-Bohon (D. 97 vers le sud) ; profondeur : 24 m ; niveau de la couche étudiée : de 5,80 à 24 m ; (BRGM).

— Gisement n° 21 (= T. 73), Saint-André-de-Bohon (est de Rougeville) ; profondeur : 30 m ; niveau de la couche étudiée : de 7,50 à 30 m ; (BRGM).

— Gisement n° 22 (= T. 71), Saint-André-de-Bohon (le Bosq) ; profondeur : 30 m ; niveau de la couche étudiée : de 0 à 30 m ; (BRGM).

— Gisement n° 23 (= S. 4 bis), Saint-André-de-Bohon (l'Ange 1) ; profondeur : 60 m ; niveau de la couche étudiée : de 1 à 54 m ; (SGEI).

— Gisement n° 24 (= T. 72), Saint-André-de-Bohon (l'Ange 2) ; profondeur : 30 m ; niveau de la couche étudiée : de 0 à 30 m ; (BRGM).

— Gisement n° 25 (= T. 65), Saint-André-de-Bohon (le Quesney) ; profondeur : 30 m ; niveau de la couche étudiée : de 0 à 30 m ; (BRGM).

— Gisement n° 26 (= T. 58), Saint-André-de-Bohon (la Brécholleric) ; profondeur : 30 m ; niveau de la couche étudiée : de 0 à 30 m ; (BRGM).

Bassin de Saint-Sauveur-le-Vicomte (Manche)

— Gisement n° 27 (= S. 48), Rauville-la-Place (hameau Cauvin 2) ; profondeur : 27,20 m ; niveau de la couche étudiée : de 3 à 8,5 m ; (CETE).

— Gisement n° 28 (= S.50), Rauville-la-Place (la Brumannerie 1) ; profondeur : 35 m ; niveau de la couche étudiée : de 5 à 24 m ; (Perrier).

— Gisement n° 29 (= F. 52), Rauville-la-Place (la Brumannerie 2) ; profondeur : 52,50 m ; niveau de la couche étudiée : de 5 à 22,5 m ; (Perrier).

— Gisement n° 30 (= F. 25 B), Saint-Sauveur-le-Vicomte (la Gathe) ; profondeur : 66 m ; niveau de la couche étudiée : de 9,75 à 62 m ; (Cinquin).

Comme nous le pratiquons depuis longtemps déjà (nombreuses notes en collaboration sur le Redonien depuis 1970), chaque auteur traite de l'étude de sa spécialité paléontologique, des points de vue biostratigraphique, paléobiogéographique (principalement paléoclimatique) et paléoécologique. Une comparaison, en fonction des divers groupes zoologiques, avec les gisements fossilifères du Pliocène, déjà connus dans la Manche, s'avère nécessaire. En Basse-Normandie, nous avons retenu Gourbesville, le Mesnil-Vigot, Saint-Georges-de-Bohon, le Bosq d'Aubigny, que l'on peut appeler « gisements des auteurs », étudiés jadis et inventoriés (Lauriat-Rage, 1981 : 14 (fig. 1), 22 et 23), auxquels nous ajoutons maintenant Cricqueville-en-Bessin, récemment publié (Pareyn *et al.*, 1984). Par ailleurs, une étude palynologique du gisement n° 8 (le Bosq d'Aubigny, 1976-1) a été effectuée par Clet (1984). En Haute-Normandie, la riche faune de Fécamp (Bassompierre *et al.*, 1970 et 1972) et celle de Valmont découverte par Cavelier et Kuntz (1974) mettent en évidence un Pliocène chaud et ancien, qui pourra être corrélé avec le Pliocène I (Formation des Bohons ou de Selsouëf).

La chronologie anglaise nous ayant servi de base aux datations des séries pliocènes et pléistocènes en Normandie, nous serons amenés à établir, même brièvement ici, des comparaisons avec les faunes de la province nordique (Angleterre, Belgique, Pays-Bas) et, naturellement aussi avec celles du reste du Redonien (Pliocène du golfe ligérien). Tous ces aspects seront développés plus en détail dans l'article de synthèse sur le Pliocène de Normandie où nous essaierons aussi de voir comment la chronologie atlanto-nordique peut être corrélée avec les subdivisions du Pliocène méditerranéen.

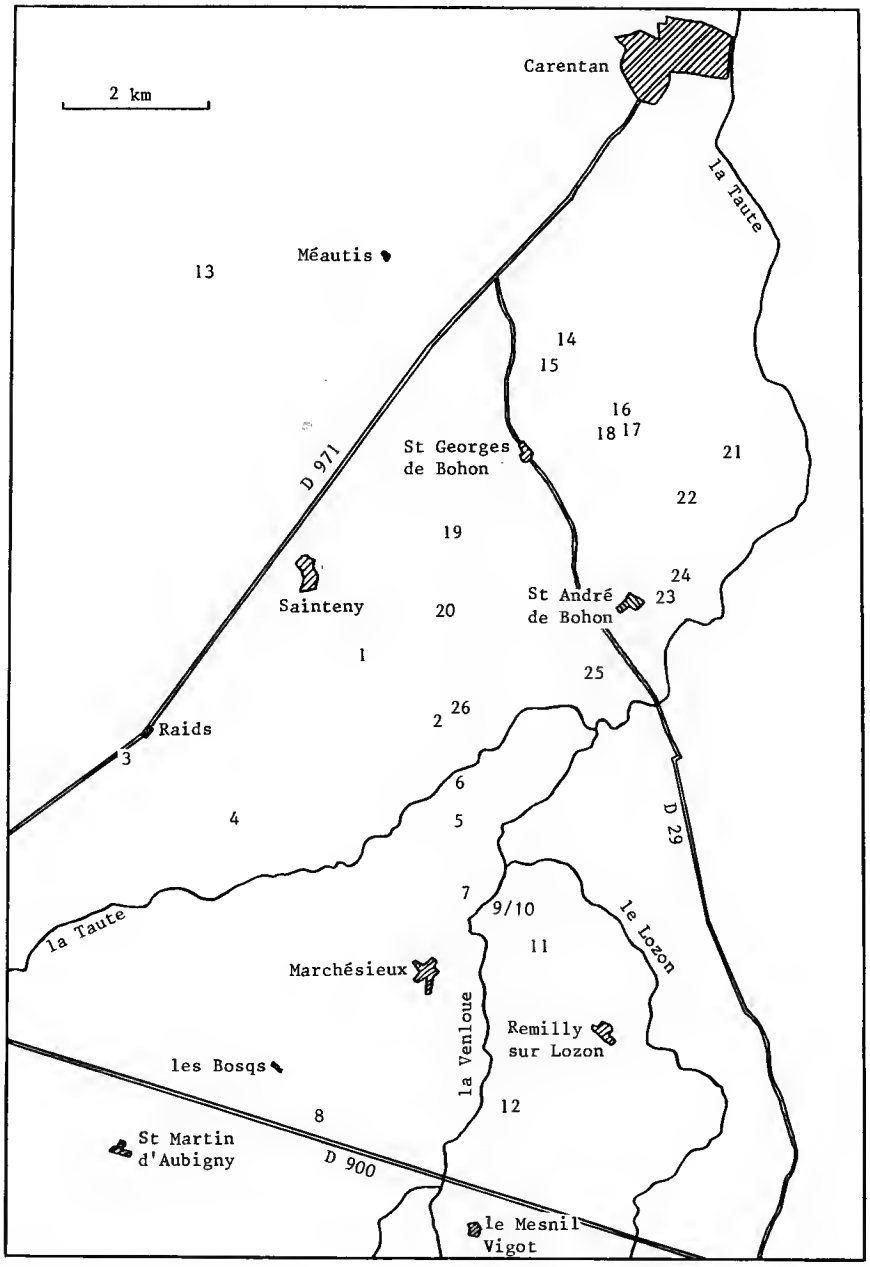


FIG. 2. — Bassin de Carentan : localisation de tous les gisements pliocènes (chaque numéro correspond à un gisement, voir texte p. 6 et 7).

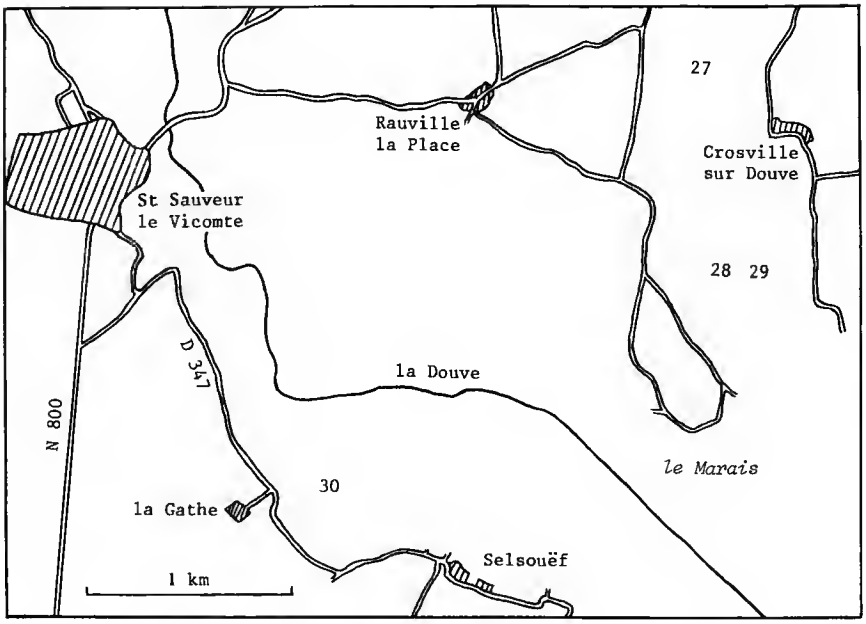


Fig. 3. — Bassin de Saint-Sauveur-le-Vicomte : localisation de tous les gisements pliocènes (chaque numéro correspond à un gisement, voir texte p. 7).

INTRODUCTION

Les Bivalves du Pliocène du Cotentin proviennent de quarante-six prélèvements dans onze gisements, huit pour le bassin de Carentan et trois pour le bassin de Saint-Sauveur-le-Vicomte. Le matériel étudié ici a été pour une part préparé au Laboratoire de Géologie à Caen et pour l'autre part extrait par mes soins de divers sacs de sédiments dans lesquels j'ai pu également relever des Madréporaires isolés, des Bryozoaires, des Gastéropodes, des plaques de Chitons, des Échinides (fragments de test et de radioles) et de très nombreux Cirripèdes. Malgré l'état le plus souvent fragmenté des valves, j'ai pu donner, pour chaque prélèvement, une liste exhaustive de la faune et cela grâce à l'abondance de certaines espèces (nombreuses charnières ou tout autre fragment significatif de la coquille).

Liste des onze gisements pliocènes [1] étudiés (fig. 2 et 3) :

— n° 1 (= T. 47), Auxais (ruisseau Bucaille) ;
— n° 4 (= T. 32), Raids (village des Gardinières) ;

1. Comme je l'ai annoncé dans l'avertissement, nous avons adopté de classer trente gisements du Cotentin dans le Pliocène en suivant le cadre stratigraphique donné par les Foraminifères qui sont dans tous les cas (tous les gisements et tous les prélèvements) les plus nombreux. L'unanimité n'ayant pu se faire en ce qui concerne l'âge de certains gisements, j'ai classé les gisements n°s 1 et 4, l'un dans le Pléistocène (base), l'autre à la limite Plio-Pléistocène.

— n° 17 (= S. 6), Saint-Georges-de-Bohon (réserve de chasse de l'Ermitage 2) ;
— n° 21 (= T. 73), Saint-André-de-Bohon (est de Rougeville) ;
— n° 22 (= T. 71), Saint-André-de-Bohon (le Bosq) ;
— n° 23 (= S. 4 bis), Saint-André-de-Bohon (l'Ange 1) ;
— n° 25 (= T. 65), Saint-André-de-Bohon (le Quesney) ;
— n° 26 (= T. 58), Saint-André-de-Bohon (la Bréchollerie) ;
— n° 27 (= S. 48), Rauville-la-Place (hameau Cauvin 2) ;
— n° 28 (= S. 50), Rauville-la Place (la Brumannerie 1) ;
— n° 30 (= F. 25 B), Saint-Sauveur-le-Vicomte (la Gathe).

Les Bivalves de ces onze gisements représentent un matériel abondant et significatif pour l'interprétation du Pliocène de la Manche. Mais, pour mémoire, je signale que dix-sept autres gisements, parmi les trente au total, renferment aussi des Bivalves, soit brisés, soit entiers (deux gisements seulement en sont complètement dépourvus). L'examen de ces gisements pourrait éventuellement faire l'objet d'une étude complémentaire et supposerait au préalable de longues opérations de tri.

Chaque gisement sera étudié suivant le même plan :

1. Caractéristiques du gisement et composition de la faune : mode d'extraction des sédiments fossilifères (sondage, sondage à la tarière, forage) ; localisation des Bivalves dans chaque coupe ; tableau donnant à la fois la liste systématique des espèces, les points exacts de prélèvements, la répartition stratigraphique de ces espèces du Miocène à l'Actuel dans l'Eurafrique, leurs domaines biogéographiques ainsi que leur origine et leur migration dans le temps et dans l'espace (voir aussi Lauriat-Rage, 1981, Annexe I, p. 189 et suiv.) ; aspects faciologiques, description sommaire de la faune (espèces dominantes, taille, épaisseur, couleur, état de conservation des coquilles). J'appelle « prélèvements » les quarante-six échantillons fossilifères, et « niveau » plusieurs prélèvements effectués dans un même ensemble stratigraphique.

2. Signification de la faune : cette étude venant en complément de ma thèse sur les Bivalves du Pliocène atlantique de France, j'ai d'abord recherché, dans les nouveaux gisements du Cotentin, les espèces à caractère pliocène, communes à la faune du Redonien (Pliocène local habituellement désigné sous ce nom). Ces espèces sont soit apparues au Pliocène en Europe ainsi que dans les golfes de la Loire et (ou) de la Manche (éteintes ou actuelles), soit endémiques du Redonien, soit encore connues dans le Miocène supérieur de domaines relativement éloignés (Méditerranée et province nordique — Pas-de-Calais fermé) et ayant migré dans nos golfes au Pliocène. J'ai également souligné la présence (effective) d'espèces signalées au Redonien dans la littérature seulement et dont j'ai dû tenir compte (Lauriat-Rage, 1981 : 159 et suiv., espèces marquées d'un astérisque). Enfin, j'ai indiqué toutes les espèces nouvelles pour la région, en donnant pour chacune d'elles leur fréquence dans le gisement (* rare, ** peu nombreuse, *** nombreuse, **** très nombreuse), leur extension stratigraphique et leur distribution géographique précise. Toutefois, lorsque l'étage recouvre un domaine biogéographique limité (exemple, le Gedgravien qui correspond au Pliocène de l'East Anglia), je ne donne pas d'autres précisions ; ce sera presque toujours le cas pour les étages nordiques de la chronologie anglaise à laquelle je me réfère.

J'analyse ensuite les espèces intéressantes des points de vue systématique et phylogénétique ; je détaille éventuellement leur signification biogéographique (principalement climatique). En effet, le rôle du climat est très important dans la période — 5,3 M.A. — 1,8 M.A.

(la durée du Pliocène). Il s'agit alors d'évaluer les variations climatiques à un moment où les influences froides font leur apparition dans l'ouest de la France (migrations venues du nord, parfois des régions arctiques). Lorsqu'une espèce est traitée en détail à propos d'un gisement, il est fait ensuite référence à ce gisement. Pour terminer, je donne une brève conclusion stratigraphique : âge du gisement par rapport au Pliocène européen (découpage en trois parties) et, à la stratigraphie locale (Redonien), avec des équivalences pour le domaine nordique.

Il est important de souligner ici que, dans la plupart des cas, je n'ai pu observer, dans le détail, la succession des formations (Bohons, Selsouëf, Brumannerie, Gourbesville, Bosq d'Aubigny) (tabl. I). Donc, hormis les gisements n° 21 (tabl. V) et n° 30 (tabl. XII), pour lesquels les Bivalves mettent en évidence deux et trois niveaux et formations stratigraphiques différents (aspect faciologique, espèces les plus récentes dans les prélèvements supérieurs), je suis amenée à donner, pour tous les autres gisements, un âge global qui est fixé par les espèces les plus récentes, même si celles-ci concernent les prélèvements les plus profonds. Prenons le cas extrême : une espèce significative à caractère récent, récoltée seulement dans le prélèvement le plus profond, donnera l'âge du gisement (les couches fossilifères s'échelonnant verticalement). Dans le travail de synthèse annoncé en début de note, j'essaierai, chaque fois que cela sera possible, de caler mes résultats avec ceux fournis par l'étude des Foraminifères, ceux-ci ayant presque toujours permis de reconnaître les diverses formations (Y. Le Calvez, note en préparation). Toutefois, certains désaccords pourront subsister.

I. ÉTUDE PALÉONTOLOGIQUE DES GISEMENTS

Gisement n° 1 (= T. 47)
Auxais (ruisseau Bucaille)

1. Caractéristiques du gisement et composition de la faune

Mode d'extraction : sondage à la tarière ayant fourni des Bivalves sur 3 m d'épaisseur, entre 14 et 17 m de profondeur ; profondeur des points de prélèvements : 14-15 m ; 15-17 m.

Les deux prélèvements renferment exactement les mêmes espèces et à peu près dans les mêmes proportions : *Nuculana (N.) minuta* est la plus rare et *Yoldia (Y.) oblongoides* la plus fréquente. Toutes les coquilles sont brisées à l'exception d'une valve de *Nuculana (N.) minuta* provenant du prélèvement 15-17 m, et les fragments oscillent en moyenne entre 4 et 10 mm ; la couleur grise des débris coquilliers est dominante dans ce prélèvement, tandis que d'assez grands fragments de *Yoldia (Y.) oblongoides* donnent une teinte plus brune au prélèvement 14-15 m.

TABLEAU II. — Répartition des Bivalves du ruisseau Bucaille en fonction de la profondeur, avec signification stratigraphique et biogéographique de chaque espèce.

RUISSEAU BUCAILLE (gisement n° 1)	14 - 15 m	15 - 17 m	répartition stratigraphique	domaines biogéographiques
Nucula (L.) sulcata Bronn	+	+	M P Q A	m a n
Acila (T.) cobboldiae (Sow.)	+	+	Q	n
Nuculana (N.) minuta (Mtg.)	+	+	P Q A	n
Yoldia (Y.) oblongoides (Wood)	+	+	(P) Q	n

M = Miocène ; P = Pliocène ; Q = Pléistocène ; A = Actuel ; R = Redonien ; ( ) = rare ; ? = présence incertaine ; --- (lettre soulignée) = répartition stratigraphique limitée à un domaine seulement (voir répartition géographique).

m = domaine méditerranéen ; a = = domaine atlantique ; t = faluns helvétiens (Touraine, Anjou, Bretagne) ; n = domaine nordique ; r = mer redonienne ; ( ) = rare ; ? = présence incertaine ; - (lettre soulignée) = domaine d'origine ; --- (lettre soulignée) = répartition géographique limitée à un âge seulement (voir répartition stratigraphique).

2. Signification de la faune

Espèces caractéristiques du Pliocène atlantique : aucune.

Espèces nouvelles pour la région :

— *Nucula (L.) sulcata* *** Helvétien, Italie — Actuel, des îles Lofoten à l'Angola et Méditerranée.
— *Acila (T.) cobboldiae* *** Newbournien — Icénien.
— *Nuculana (N.) minuta* ** Scaldisien, niveau Luchtbal — Actuel, Atlantique nord, Arctique, Pacifique nord (Californie, Japon).
— *Yoldia (Y.) oblongoides* **** Lenham Beds, Waltonien ; Newbournien-Icénien.

Caractérisé par un faciès à nucules, le gisement du ruisseau Bucaille renferme *Acila (T.) cobboldiae* (pl. 1, 10, 11), inconnue au Pliocène et facilement identifiable en raison de son ornementation en chevrons. Pour cette raison, il est comparable aux gisements de Saint-Nicolas-de-Pierrepont (LAURIAT *in* BRÉBION *et al.*, 1973-1974 : 85) et de la région de Sainteny (note en préparation), que je classe dans le Pléistocène (Newbournien à Icénien).

Yoldia (Y.) oblongoides (= non *myalis* Couthouy) (pl. 1, 3-8) est aussi une espèce intéressante sur le plan stratigraphique, car, comme *Acila (T.) cobboldiae*, elle ne dépasse pas le Pléistocène ancien (Icénien). En ce qui concerne la limite inférieure, elle abonde dans le Newbournien. Toutefois, elle est signalée dans les Lenham Beds (Pliocène (?) d'Angleterre) et j'ai récemment noté, dans les collections du British Museum (N. H.), la présence d'un

fragment de cette espèce provenant du Waltonien de Walton-on-Naze (coll. R. Bell, 1888). *Yoldia (Y.) oblongoides* est bien représentée dans le gisement du ruisseau Bucaille, et reconnaissable à son test mince et lisse, souvent brillant (fines stries d'accroissement irrégulières) et à sa charnière étroite en dépit d'un resilifer bien développé.

Inversement, les deux autres espèces nouvelles pour la région sont encore actuelles. Quelques fragments de nucules, à test épais et présentant une costulation concentrique irrégulière, se rapportent à *Nucula (L.) sulcata* (pl. 1, 7). Lorsque ces deux caractères morphologiques sont atténués, il peut y avoir confusion avec *Nucula (N.) nucleus nucleus*, mais cette dernière est généralement de plus petite taille et de plus forte convexité ; par ailleurs, les deux espèces cohabitent rarement et même s'excluent mutuellement. *Nucula (L.) sulcata*, néogène et actuelle, est signalée en Atlantique dans le Tortonien du Portugal et le Pliocène des Cornouailles (St-Erth) et montre de nos jours une plus vaste répartition géographique. *Nuculana (N.) minuta*, connue depuis le Scaldisien de Belgique et voisine de *Nuculana (N.) pernula* (Müller) par sa forme et son ornementation, s'en distingue toutefois par une nette discontinuité entre le bord ventral et la région anale (pl. 1, 8), délimitant bien celle-ci, alors que chez la seconde le bord ventral se raccorde au bord anal suivant une courbure très régulière (Wood, 1850 : pl. X, fig. 12 et 13) ; d'un point de vue stratigraphique, *Nuculana (N.) pernula* apparaît plus tardivement, à l'Icénien seulement. Remarquons l'absence de *Nuculana (L.) pella*, si fréquente dans les gisements du Pliocène étudiés ci-après, et méridionale de nos jours.

En conclusion, la limite inférieure (Newbournien) et supérieure (Icénien) du gisement du ruisseau Bucaille est donnée par *Acila (T.) cobboldiae* qui caractérise le Pléistocène ancien. La limite supérieure est confirmée par la disparition de *Yoldia (Y.) oblongoides*.

Âge : Pléistocène ancien (base du Newbournien).

Gisement n° 4 (= T.32)

Raids (village des Gardinières)

1. Caractéristiques du gisement et composition de la faune

Mode d'extraction : sondage à la tarière ayant fourni des Bivalves sur 22 m d'épaisseur, entre 8 et 30 m de profondeur ; profondeur des points de prélèvements : 8-12 m ; 12-16 m ; 16-20 m ; 20-22 m ; 22-28 m ; 28-30 m.

Ce gisement se compose principalement de débris coquilliers de très petite taille (en moyenne 3 à 7 mm) et peu abondants, donc souvent de détermination incertaine. Seule, une valve de *Pteromeris (C.) corbis* (L = 6 mm), provenant du prélèvement 22-28 mm, est entière et très bien conservée. Dans les prélèvements 20-22 m et 22-28 m, figurent quelques gros débris (jusqu'à 20 mm) d'*Ostrea (O.) edulis*, et, dans le prélèvement 22-28 m, un gros fragment (14 mm) d'*Acila (T.) cobboldiae*. Bien que les Taxodontes soient présents dans tous les prélèvements, on ne peut pas dire qu'il s'agit d'un faciès à nucules comme c'est le cas pour le gisement n° 1 (ruisseau Bucaille) ; *Nucula (N.) tenuis* ? (pl. 1, 2-3) et *Nucula (L.) sulcata*, nouvelles pour la région, sont rares, *Nuculana (N.) minuta* est absente, *Yoldia*

(Y.) oblongoides est peu fréquente et les autres éléments de la faune ne sont pas négligeables.

TABLEAU III. — Répartition des Bivalves du village des Gardinières en fonction de la profondeur, avec signification stratigraphique et biogéographique de chaque espèce. (Signification des lettres voir tableau II.)

VILLAGE DES GARDINIÈRES (gisement n°4)	8-12 m	12-16 m	16-20 m	20-22 m	22-28 m	28-30 m	répartition stratigraphique	domaines biogéographiques
Nucula (N.) tenuis (Mtg.)			?	?	?		P? Q A	a n
Nucula (L.) sulcata Bronn	+						M P Q A	m a n
Acila (T.) cobboldiae (Sow.)					+		Q	n
Nucula (L.) pella (L.)				+			(M)P Q A	m a
Yoldia (Y.) oblongoides (Wood)	+		+	+	+	+	(P) Q	n
Striarca lactea (L.)	+						M P Q A	m a t n
Arcidae			+			+		
Mytilidae			+					
Chlamys (C.) pusio (L.)	?				+		M P Q A	m a t n
Chlamys (A.) opercularis (L.)		?	+				M P Q A	m a n
Chlamys sp.				+				
Ostrea (O.) edulis L.				+	+		M P Q A	m a n
Cardita (C.) calyculata (L.)			+				(M)P Q A	m a
Pteromeris (C.) corbis (Phil.)					+		M P Q A	m a t n
Astarte (A.) sulcata sulcata (Da Costa)					+		Q A	m a n
Cerastoderma edule (L.)			+		+	+	P Q A	m a n
Spisula (S.) solida (L.) s.l.				+	+		P Q A	a n
Tellinidae			+					
Abra sp.					+			
Hiatella (H.) arctica (L.)						+	M P Q A	m a t n

2. Signification de la faune

Espèces caractéristiques du Pliocène atlantique : *Cerastoderma edule, Spisula (S.) solida* s. l.

Espèces nouvelles pour la région :

— *Nucula (N.) tenuis* ? ** Gedgravien ? — Actuel, de l'Arctique à Gibraltar, Floride, Pacifique nord (Californie, Japon).

— *Nucula (N.) sulcata* * Helvétien, Italie — Actuel, des îles Lofoten à l'Angola et Méditerranée.
— *Acila (T.) cobboldiae* ** Newbournien — Icénien.
— *Yoldia (Y.) oblongoides* *** Lenham Beds, Waltonien ; Newbournien-Icénien.
— *Astarte (A.) sulcata sulcata* * post-Redonien — Actuel, de l'Islande au Maroc atlantique et Méditerranée.

Le mauvais état de conservation des coquilles ne permet pas de mener certaines déterminations jusqu'au niveau souhaité. Mais, comme précédemment, la présence d'*Acila (T.) cobboldiae* me conduit à ranger ce gisement dans le Pléistocène ancien. Trois espèces sur cinq sont actuelles. Précisons toutefois que la présence d'une Arcidae (charnière appartenant à un individu de grande taille) et des deux Carditidae, toutes trois à caractère méridional, plaide aussi en faveur d'un âge nettement plus ancien que l'Actuel. Une nucule voisine de *Nucula (N.) nucleus nucleus*, à test mince, pourrait se rapporter à *Nucula (N.) tenuis* ; cette espèce actuelle a été signalée dans les Crags anglais, avec doute à partir du Coralline Crag (Gedgravien) et se répartit aujourd'hui dans diverses provinces à l'échelle mondiale . Quelques valves de *Nuculana (L.) pella*, espèce méridionale, toujours fréquente dans le Pliocène du Cotentin pour des raisons climatiques et définitivement absente des gisements franchement pléistocènes des bassins de Carentan et de Saint-Sauveur-de-Pierrepont (étude en cours), tendent à prouver que le gisement du village des Gardinières se situe à la limite Plio-Pléistocène et qu'il est un peu plus ancien que le gisement n° 1 (ruisseau Bucaille). Qu'il s'agisse de gisements à caractère pléistocène (ruisseau Bucaille et village des Gardinières) ou de gisements franchement pliocènes (les neuf autres étudiés ci-après), on remarquera l'importance des Nuculidae et des Nuculanidae sur le plan stratigraphique. Par ailleurs, *Astarte (A.) sulcata* relaie, au Waltonien ou après le Waltonien, *Astarte (A.) sulcata redonensis* du Redonien. Il est impossible de préciser, dans le cas de ce gisement, si l'on a affaire à *Spisula (S.) solida ovalis* (stade ancestral) ou à *Spisula (S.) solida solida* (stade moderne), l'espèce étant trop fragmentée.

En conclusion, ce gisement, qui doit être rattaché au Pléistocène par la seule présence de *Acila (T.) cobboldiae*, est vraisemblablement très proche de la limite Plio-Pléistocène, compte tenu des indications données par *Nuculana (L.) pella*.

Âge : limite Plio-Pléistocène.

Gisement n° 17 (= S.6)

Saint-Georges-de-Bohon (réserve de chasse de l'Ermitage 2)

1. Caractéristiques du gisement et composition de la faune

Mode d'extraction : sondage ayant fourni des Bivalves sur 23 m d'épaisseur, entre 26 et 49 m de profondeur ; profondeur des points de prélèvements : 26 m ; 33 m ; 35 m ; 38 m ; 39 m ; 41 m ; 43 m ; 45 m ; 47 m; 49 m.

On ne relève guère de variations fauniques importantes entre les onze points du son-

TABLEAU IV. — Répartition des Bivalves de la réserve de chasse de l'Ermitage 2 en fonction de la profondeur, avec signification stratigraphique et biogéographique de chaque espèce. (Signification des lettres voir tableau II.)

RÉSERVE DE CHASSE DE L'ERMITAGE 2 (gisement n°17)	26 m	33 m	35 m	37 m	38 m	39 m	41 m	43 m	45 m	47 m	49 m	répartition stratigraphique	domaines biogéographiques
Nucula (N.) nucleus nucleus (L.)		+	+	+		+	+	+	+	+	+	M P Q A	m a n
Nuculana (N.) minuta (Mtg.)									+			P Q A	n
Nuculana (L.) pella (L.)	+	+	+	+		+	+	+		+	+	(M)P Q A	m a
Yoldia (Y.) oblongoides (Wood)						+						(P)Q	n
Barbatia (B.) barbata (L.)		+		+			+	+		+	+	M P Q A	m a t(n)
Barbatia (A.) clathrata (Defr.)		+		+		+						M P Q A	m a t(n)
Striarca lactea (L.)	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	M P Q A	m a t n
Limopsis (P.) anomala coxi Glib.& V.de P.						+	+					P	a n
Limopsis (P.) recisa (Defr.)	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	M P	m a t
Glycymeris (G.) sp.			+			+	+	+					
Mytilidae		+	+	+		+	+	+	+	+	+		
Chlamys (C.) pusio (L.)		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	M P Q A	m a t n
Chlamys (C.) varia (L.)		+					+	+	+		+	M P Q A	m a n
Chlamys (A.) opercularis (L.)		+	+	+	+	+	+	+	+			M P Q A	m a n
Chlamys (A.) radians (Nyst)		?	?									M P Q	m a t n
Chlamys sp.	+												
Lima (L.) lima (L.)		+	+						+			M P Q A	m a t n
Limaria hians (Gmel.)								?				(M)P Q A	m a n
Ostrea (O.) edulis L.			+	+			+	+	+	+		M P Q A	m a n
Parvilucina (M.) dentata (Defr.)				+					+			M P	m a t n
Lucinoma borealis (L.)		+										M P Q A	m a n
Lucinidae									+	+			
Chama (P.) gryphoides L.								+				M P Q A	m a t n
Chama sp.							+						
Cardita (C.) elongata Bronn				?								M P Q	m a t
Cardita (C.) calyculata (L.)	+		+	+		+		+		+		(M)P Q A	m a
Glans (G.) aculeata ampla (Chav.& Coat.)						+	+		+			P Q?	a n
Pteromeris (C.) corbis (Phil.)			+	+		+		+	+	+	+	M P Q A	m a t n
Megacardita striatissima (Caill.)	+	+	+	+		+	+	+	+		+	P Q?	a
Astarte (A.) sulcata redonensis L.-Rage	+	+						+			+	R	r
Astarte (D.) obliquata obliquata Sow.				+				+				P Q	a n
Astarte (D.) excurrens excurrens Wood						+						P	a n
Astarte sp.			+			+	+						
Digitaria digitaria (L.) *forma lanceolata*			+					+	+			R	r
Parvicardium (P.) papillosum (Poli)		+										M P Q A	m a t n
Cerastoderma edule (L.)						+						P Q A	m a n
Spisula (S.) solida ovalis (Sow.)			+	+		+			+			P Q	a n
Spisula (S.) subtruncata triangula (Ren.)			+	?					+		+	M P	m a t n
Spisula sp.								+					
Irus (I.) irus (L.)									+			M P Q A	m a t n
Tapetinae					+								
Veneridae										+			
Corbula (V.) gibba gibba (Ol.)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	M P Q A	m a t n
Hiatella (H.) arctica (L.)		+		+							+	M P Q A	m a t n

dage. Seul, le prélèvement à 38 m est très pauvre en espèces. Tous les autres prélèvements ont à peu près les mêmes proportions de Pteriomorphia et d'Heterodonta, avec un nombre variable d'espèces (13 à 22, une fois seulement 8 espèces). La plupart des valves sont cassées et calibrées de 5 à 20 mm ; citons *Barbatia, Glycymeris, Chlamys, Cardita, Spisula.* Les fragments sont inégalement usés. Les valves entières et de petites dimensions (4 à 7 mm) reviennent soit à des espèces de petite taille, telles *Striarca lactea, Pteromeris (C.) corbis, Digitaria digitaria* forma *lanceolata* (pl. IV, 2), *Plagiocardium (P.) papillosum*, soit à des formes juvéniles, principalement de *Nucula (N.) nucleus nucleus, Barbatia (B.) barbata, Limospsis (P.) recisa* (pl. II, 2) ou occasionnellement d'*Astarte (D.) obliquata obliquata* (pl. III, 4) ; *Nucula et Limopsis* sont aussi représentés par des individus entiers de plus grande taille. Les valves entières montrent le plus souvent un faible degré d'usure ; toutefois, certaines d'entre elles sont de toute évidence roulées.

Les Pteriomorphia dominent en nombre d'espèces et d'individus dans la moitié des prélèvements et sont toujours présents dans les autres. Parmi les Arcoida, plusieurs familles (Nuculidae, Nuculanidae, Arcidae, Limopsidae, Glycymerididae) sont représentées par une ou deux espèces : *Striarca lactea* est de loin la plus abondante. Plusieurs espèces sont nouvelles pour le Pliocène atlantique. Un fragment de valve comprenant une oreillette lisse pourrait se rapporter à *Limaria hians*. Parmi les Heterodonta, les familles dominantes sont les Carditidae, les Astartidae et les Mactridae. La présence de Veneridae est exceptionnelle ; j'y ai reconnu *Irus (I.) irus*. Chez les Myoida, *Hiatella (H.) arctica* accompagne le plus souvent *Corbula (V.) gibba gibba*, (pl. IV, 9).

2. Signification de la faune

Espèces caractéristiques du Pliocène atlantique : *Nucula (N.) nucleus* s. s., *Nuculana (L.) pella, Limopsis (P.) anomala coxi, Chlamys (C.) varia, Cardita (C.) calyculata, Glans (C.) aculeata ampla, Megacardita striatissima, Astarte (A.) sulcata redonensis, A. (D.) obliquata* s. s., *A. (D.) excurrens* s. s., *Digitaria digitaria* forma *lanceolata, Cerastoderma edule, Spisula (S.) solida ovalis.*

Espèces connues jusque-là dans le Redonien par citation seulement : *Limaria hians* ?, *Irus (I.) irus.*

Espèces nouvelles pour la région :

— *Nuculana (N.) minuta* * Scaldisien, niveau Luchtbal — Actuel, Atlantique nord, Arctique, Pacifique nord (Californie, Japon).
— *Yoldia (Y.) oblongoides* * Lenham Beds, Waltonien ; Newbournien-Icénien.
— Mytilidae indet. **** Pliocène — Actuel.

Ce gisement renferme une faune pliocène, attestée par un important apport nouveau par comparaison avec le Miocène (14 espèces sur 37, soit plus d'un tiers de renouvellement). Par ailleurs, la présence de *Megacardita striatissima* (pl. III, 2) confirme un âge pliocène (Lauriat-Rage, 1981 : 72) et l'absence de *Acila (T.) cobboldiae* infirme un âge pléistocène

(par opposition aux deux gisements étudiés précédemment). Ajoutons que *Nucula (N.) nucleus nucleus* (pl. 1, 1) remplace, et exclut généralement, dans le Redonien, *Nucula (L.) sulcata*, caractéristique des gisements du Pléistocène dans le Cotentin.

Précisons la signification stratigraphique et climatique des trois espèces nouvelles pour la région. *Nuculana (N.) minuta*, bien que très rare à la réserve de chasse de l'Ermitage 2 (prélèvement à 45 m), a une signification intéressante, car elle est connue des sables de Luchtbal dans le Scaldisien de Belgique (équivalent possible du Gedgravien supérieur selon Ph. Brébion). Elle est donc un bon indicateur pour placer ce gisement un peu au-dessus des gisements redoniens du Cotentin connus jusqu'alors (Lauriat-Rage, 1981 : 22). Du point de vue biogéographique, elle est aujoud'hui caractéristique des régions arctique et boréale et constitue, fait normal, une influence froide dans le Pliocène récent.

Yoldia (Y.) oblongoides, caractéristique du Pléistocène ancien (Newbournien-Icénien), mais qui est signalée à l'état de rareté dans le Pliocène d'Angleterre (p. 12), fait également, à cette époque, une timide apparition dans le gisement de la réserve de chasse de l'Ermitage 2 (prélèvement à 39 m). Elle constitue aussi un bon indicateur stratigraphique pour placer ce gisement dans la partie supérieure du Pliocène III. En raison de sa dénomination ambiguë, soit *myalis*, soit *oblongoides*, cette espèce est délicate à traiter ; il faut rappeler à ce propos une citation dans la thèse de Vasseur, à propos des faluns redoniens de la Dixmerie (Loire-Atlantique) (1881 : 379) : « *Leda myalis* ? ? Couthouy, courante, espèce du Crag, très abondante au Pigeon-Blanc ». Je n'ai trouvé trace de cette espèce ni dans le matériel provenant de la Dixmerie, ni dans celui du Pigeon-Blanc. Et pourtant, il n'y a pas de confusion possible avec les autres Nuculanidae redoniennes.

La présence de débris d'une Mytilidae — à ornementation bifurquée, chevronnée — dans presque tous les prélèvements, mérite quelque attention. Ces débris (d'une espèce inconnue jusqu'alors dans le Redonien) pourraient se rapporter à *Septifer*, à *Brachiodontes* ou à *Perna* : fait surprenant à cette époque, il s'agirait d'un élément simultanément nouveau et chaud de la faune. Cette Mytilidae très fréquente annonce, en quelque sorte, les faciès à moules du Pléistocène.

L'extinction après le Redonien de plusieurs espèces et sous-espèces, *Limopsis (P.) recisa, Parvilucina (M.) dentata, Astarte (A.) sulcata redonensis, Astarte (D.) excurrens excurrens, Digitaria digitaria* forma *lanceolata* (endémique du Redonien), *Spisula (S.) subtruncata triangula*, ainsi que la présence d'espèces méridionales, *Nuculana (L.) pella, Barbatia (B.) barbata, Barbatia (A.) clathrata, Chama (C.) gryphoides*, disparues définitivement de la région après le Pliocène, tendent à démontrer que ce gisement reste, en dépit d'un petit apport nouveau, proche stratigraphiquement du Pliocène connu jusqu'alors en Basse-Normandie. Principalement en raison de la présence d'éléments nouveaux, *Nuculana (N.) minuta, Yoldia (Y.) oblongoides*, et aussi par comparaison avec la faune redonienne de Gourbesville et de Cricqueville-en-Bessin, je situe le gisement de la réserve de chasse de l'Ermitage 2 stratigraphiquement un peu au-dessus de ces derniers (niveau Bosq d'Aubigny).

Âge : Pliocène III (Redonien récent) ; équivalent nordique : Gedgravien supérieur.

Gisement n° 21 (= T. 73)

Saint-André-de-Bohon (est de Rougeville)

1. Caractéristiques du gisement et composition de la faune

Mode d'extraction : sondage à la tarière ayant fourni des Bivalves sur 22,5 m d'épaisseur entre 7,5 et 30 m de profondeur ; profondeur des points de prélèvements : 7,5-9 m ; 9-12 m ; 12-15 m ; 18-22 m ; 22-26 m ; 26-30 m.

Il apparaît d'emblée que ce sondage traverse des niveaux différents. En effet, les trois premiers prélèvements (niveau le plus récent) s'avèrent pauvres en espèces et deux d'entre eux sont marqués par la présence de *Yoldia (Y.) oblongoides*, surtout fréquente entre 7,5 et 9 m, le prélèvement le plus récent. A l'exception de *Lucinoma borealis*, toutes les espèces sont brisées et les fragments peu usés. *Ostrea (O.) edulis* et *Spisula (S.) solida ovalis* reviennent à des spécimens de grande taille (30 à 50 mm) par rapport au reste de la faune. La sédimentation calcaire est attestée par la présence de nombreux cailloutis marneux ou calcareux, souvent bien roulés.

Les trois prélèvements suivants (niveau le plus ancien) se caractérisent par l'abondance de cailloutis d'origines diverses, mélangés à des débris de coquilles, les valves entières étant assez rares ; les fragments n'excèdent généralement pas 25 mm. Les plus grosses coquilles (*Glycymeris, Ostrea, Glans, Astarte*) se rencontrent dans le prélèvement 18-22 m, où des fragments de *Glycymeris* se rapportent à un individu d'au moins 50 mm de long. Dans ce même prélèvement, on trouve un mélange de coquilles jaunes et grises, ces dernières largement dominantes. Les coquilles grises sont pour la plupart des *Chlamys* (très nombreux individus par espèce), mais peuvent aussi revenir à des Pteriomorphia ou des Heterodonta, et principalement à *Barbatia (B.) barbata* (pl. II, 11), représentée aussi par des valves de couleur jaune, sans doute en relation avec des provenances différentes. La très grande majorité des coquilles (entières et fragmentées) provenant des prélèvements 22-26 mm et 26-30 m sont de couleur jaune et la faible proportion des *Chlamys* renforce l'aspect clair du sédiment. Ces prélèvements ont à peu près la même composition faunique et diffèrent peu des prélèvements du gisement n° 17 (réserve de chasse de l'Ermitage 2) quant aux proportions de Pteriomorphia (nombreux) et Heterodonta, si ce n'est qu'ils sont marqués par l'absence de *Nuculana (N.) minuta* et *Yoldia (Y.) oblongoides*, à signification stratigraphique intéressante. Notons aussi l'absence des *Myoida*.

2. Signification de la faune

Espèces caractéristiques du Pliocène atlantique : *Nucula (N.) nucleus* s. s., *Nuculana (L.) pella* (pl. II, 1), *Chlamys varia, Cardita (C.) calyculata* (pl. III, 5), *Glans (C.) aculeata ampla, Astarte (A.) omalii* s. s., *Astarte (A.) sulcata redonensis, Astarte (D.) excurrens* s. s., *Digitaria digitaria* forma *lanceolata, Spisula (S.) solida ovalis, Tellina (A.) crassa* s. s.

TABLEAU V. — Répartition des Bivalves de l'est de Rougeville en fonction de la profondeur, avec signification stratigraphique et biogéographique de chaque espèce. (Signification des lettres voir tableau II.)

EST DE ROUGEVILLE (gisement n°21)	niveau sup. 7,5 – 9 m	9 – 12 m	12 – 15 m	niveau inf. 18 – 22 m	22 – 26 m	26 – 30 m	répartition stratigraphique	domaines biogéographiques
Nucula (N.) nucleus nucleus (L.)			+	+	+	+	M P Q A	m a n
Nuculana (L.) pella (L.)				+		+	(M)P Q A	m a
Yoldia (Y.) oblongoides Wood	+		+				(P)Q	n
Barbatia (B.) barbata (L.)				+	+	+	M P Q A	m a t(n)
Barbatia (A.) clathrata (Defr.)				+			M P Q A	m a t(n)
Striarca lactea (L.)	+			+	+	+	M P Q A	m a t n
Limopsis recisa (Defr.)				+	+	+	M P	m t
Glycymeris (G.) sp.				+	+			
Mytilus (M.) edulis L.				+	+	+	P Q A	(m)a n
Chlamys (C.) pusio (L.)	+			+	+	+	M P Q A	m a t n
Chlamys (C.) varia (L.)			+			+	M P Q A	m a n
Chlamys (A.) opercularis (L.)	+		+	+	+		M P Q A	m a n
Chlamys (A.) radians (Nyst)						+	M P Q	m a t n
Lima (L.) lima (L.)				+		+	M P Q A	m a t n
Ostrea (O.) edulis L.	+		+	+	+		M P Q A	m a n
Lucinoma borealis (L.)		+			+		M P Q A	m a n
Cardita (C.) elongata (Bronn)				?			M P Q	m a t
Cardita (C.) calyculata (L.)					+	+	(M)P Q A	m a
Glans (C.) aculeata ampla (Chav.& Coat.)				+	+		P Q?	a n
Pteromeris (C.) corbis (Phil.)				+		+	M P Q A	m a t n
Astarte (A.) omalii omalii Jonk.				+	+	+	P Q	a n
Astarte (A.) sulcata redonensis L.-Rage				+			R	r
Astarte (D.) excurrens excurrens Wood					+		P	a n
Astarte sp.				+				
Digitaria digitaria (L.) *forma lanceolata*					+		R	r
Spisula (S.) solida ovalis (Sow.)	+		+	+		+	P Q	a n
Spisula (S.) subtruncata triangula (Ren.)	+	+					M P	m a t n
Tellina (A.) crassa crassa (Penn.)				+		+	P Q A	m a n
Venerupis (V.) aureus (Gmel.)	?		?				(M)P Q A	m a n
Tapetinae					+			

Espèces nouvelles pour la région (niveau supérieur seulement) :

— *Yoldia (Y.) oblongoides* *** Lenham Beds, Waltonien ; Newbournien-Icénien.

Je considère qu'il existe deux niveaux stratigraphiques dans ce gisement situé à l'est de Rougeville (voir tabl. V). Le niveau supérieur (7,5-15) renferme *Yoldia (Y.) oblongoides*, rare au Pliocène et caractéristique du Pléistocène ancien (voir signification de cette espèce à propos des gisements n° 1, ruisseau Bucaille, et n° 17, réserve de chasse de l'Ermitage 2) et abondante dans ce niveau. Par ailleurs, on remarquera la disparition de plusieurs Taxodontes méridionaux, ainsi que des Carditidae et Astartidae connues jusqu'alors dans le Redonien du Cotentin. A cela s'ajoute un appauvrissement de la faune par comparaison avec le niveau inférieur ou encore le gisement n° 17. Toutefois, cette petite faune conserve des caractères archaïques par rapport à l'Actuel : présence de deux Mactridae et de *Yoldia (Y.) oblongoides*, toutes trois fossiles. Donc, pour des raisons stratigraphiques et climatiques nécessairement liées, on peut situer le niveau supérieur de ce gisement un peu au-dessus du gisement de la réserve de chasse de l'Ermitage 2.

Le niveau inférieur (18-30 m) correspond à une faune redonienne typique (Gourbesville — Cricqueville), attestée en particulier par la présence, dans les trois prélèvements, d'*Astarte (A.) omalii omalii* (pl. III, 7) et par l'abondance dans un prélèvement (22-26 m) de *Digitaria digitaria* forma *lanceolata*, endémique du golfe de la Manche au Pliocène.

En conclusion, cette coupe présente un intérêt stratigraphique évident, celui de traverser deux niveaux d'âges différents, se situant l'un et l'autre dans le Pliocène supérieur.

Âge : niveau supérieur : Pliocène III (Redonien récent, niveau Bosq d'Aubigny) ; équivalent nordique : Gedgravien supérieur — niveau inférieur : Pliocène III (Redonien récent, niveau Gourbesville — Cricqueville) ; équivalent nordique : Gedgravien.

Gisement n° 22 (= T. 71)

Saint-André-de-Bohon (le Bosq)

1. Caractéristiques du gisement et composition de la faune

Mode d'extraction : sondage à la tarière ayant fourni deux Bivalves sur 4 m d'épaisseur, entre 26 et 30 m de profondeur.

2. Signification de la faune

Espèces caractéristiques du Pliocène atlantique : *Glans (C.) aculeata ampla* (pl. III, 6), Astartidae sp.

Espèces nouvelles pour la région : aucune.

TABLEAU VI. — Répartition des Bivalves du Bosq en fonction de la profondeur, avec signification stratigraphique et biogéographique de chaque espèce. (Signification des lettres voir tableau II.)

le BOSQ (gisement n°22)	26-30 m	répartition stratigraphique	domaines biogéographiques
Glans (C.) aculeata ampla (Chav. et Coat.)	+	P Q?	a n
Astarte sp.	+	P	a n

Le gisement du Bosq [1] est trop pauvre pour discuter de sa position stratigraphique précise par comparaison aux autres gisements de la région. Mais il est vraisemblable que les deux éléments de la faune se rapportent au Redonien de la Brumannerie.

ÂGE : Pliocène II (Redonien moyen).

GISEMENT n° 23 (= S.4 bis)

Saint-André-de-Bohon (l'Ange 1)

1. Caractéristiques du gisement et composition de la faune

Mode d'extraction : sondage ayant fourni des Bivalves sur 23 m d'épaisseur, entre 14 et 37 m de profondeur ; profondeur des points de prélèvements : 14-15 m ; 36-37 m.

Ces deux prélèvements, séparés par 21 m d'épaisseur de sédiments sans Bivalves déterminables, sont trop pauvres en espèces pour faire l'objet d'une analyse détaillée. Toutefois, on notera que le prélèvement 14-15 m renferme *Nuculana (L.) pella* (couleur jaune), telle qu'on en rencontre dans divers prélèvements des gisements n° 17 (réserve de chasse de l'Ermitage 2), n° 21 (est de Rougeville, niveau inférieur) et n° 27 (hameau Cauvin 2). Les coquilles du prélèvement 36-37 m sont de petite taille et souvent fragmentées (3 à 5 mm) et, pour la plupart, de couleur grise. Seule, *Corbula (V.) gibba gibba* est assez bien représentée (7 spécimens).

2. Signification de la faune

Espèces caractéristiques du Pliocène atlantique : *Nuculana (L.) pella, Limopsis (P.) anomala coxi, Astarte (A.)* sp., *Astarte (D.) excurrens* s. s.

1. Ne pas confondre avec le Bosq d'Aubigny (commune de Marchésieux).

TABLEAU VII. — Répartition des Bivalves de l'Ange 1 en fonction de la profondeur, avec signification stratigraphique et biogéographique de chaque espèce. (Signification des lettres voir tableau II.)

L'ANGE 1 (gisement n°23)	14-15 m	36-37 m	répartition stratigraphique	domaines biogéographiques
Nuculana (L.) pella (L.)	+		(M)P Q A	m a
Yoldia (Y.) oblongoides (Wood)		+	(P)Q	n
Striarca lactea (L.)		+	M P Q A	m a t n
Limopsis (P.) anomala coxi Glib.& V.de P.		+	P	a n
Limopsis (P.) recisa (Defr.)		+	M P	m a t
Astarte (A.) sp.		+		
Astarte (D.) excurrens excurrens Wood		+	P	a n
Goodallia triangularis (Mtg.)		+	M P Q A	m a t n
Corbula (V.) gibba gibba (Ol.)		+	M P Q A	m a t n

Espèces nouvelles pour la région :

— *Yoldia (Y.) oblongoides* * Lenham Beds, Waltonien ; Newbournien-Icénien.

La faune de ce gisement est pauvre ; les Taxodontes et *Corbula (V.) gibba gibba* sont les plus nombreux. On retiendra deux espèces significatives, *Nuculana (L.) pella*, qui représente une influence méridionale, et *Yoldia (Y.) oblongoides*, inconnue jusque-là dans le Redonien et citée dans ce travail dans plusieurs gisements d'âge un peu plus récent que le niveau caractérisé par l'ensemble Gourbesville-Cricqueville.

En conséquence, je pense que le gisement de l'Ange 1 peut être daté du même âge que celui de la réserve de chasse de l'Ermitage 2 (n° 17), c'est-à-dire un peu au-dessus de Gourbesville.

ÂGE : Pliocène III (Redonien récent) ; équivalent nordique : Gedgravien supérieur.

GISEMENT n° 25 (= T.65)

Saint-André-de-Bohon (le Quesney)

1. Caractéristiques du gisement et composition de la faune

Mode d'extraction : sondage à la tarière ayant fourni des Bivalves sur 4,5 m d'épaisseur, entre 18 et 22,5 m de profondeur.

TABLEAU VIII. — Répartition des Bivalves du Quesney en fonction de la profondeur, avec signification stratigraphique et biogéographique de chaque espèce. (Signification des lettres voir tableau II.)

LE QUESNEY (gisement n°25)	18-22,5 m	répartition stratigraphique	domaines biogéographiques
Striarca lactea (L.)	+	M P Q A	m a t n
Glans (C.) aculeata ampla (Chav. et Coat.)	+	P Q?	a n
Digitaria digitaria (L.) *forma lanceolata*	+	R	r
Goodallia triangularis (Mtg.)	+	M P Q A	m a t n
Irus (I.) irus (L.)	+	M P Q A	m a t n

Ces très petites coquilles (2 à 4 mm), de couleur jaune, correspondent toutes à des stades juvéniles, sauf *Goodallia triangularis* naturellement petite au Redonien. Le gisement est pauvre et chaque espèce n'a qu'un seul représentant.

2. Signification de la faune

Espèces caractéristiques du Pliocène atlantique : *Glans (C.) aculeata ampla, Digitaria digitaria* forma *lanceolata.*

Espèces nouvelles pour la région : aucune.

Compte tenu de l'absence de *Yoldia (Y.) oblongoides*, le gisement du Quesney peut être rapporté au Redonien de Gourbesville, comme l'atteste la présence de *Digitaria digitaria* forma *lanceolata*, endémique de la Manche à cette époque.

ÂGE : Pliocène III (Redonien récent) ; équivalent nordique : Gedgravien.

GISEMENT n° 26 (= T. 58)

Saint-André-de-Bohon (la Bréchollerie)

1. Caractéristiques du gisement et composition de la faune

Mode d'extraction : sondage ayant fourni des Bivalves sur 9 m d'épaisseur, entre 19 et 28 m de profondeur ; profondeur des points de prélèvements : 19-24 m ; 24-28 m.

TABLEAU IX. — Répartition des Bivalves de la Bréchollerie en fonction de la profondeur, avec signification stratigraphique et biogéographique de chaque espèce. (Signification des lettres voir tableau II.)

LA BRÉCHOLLERIE (gisement n°26)	19-24 m	24-28 m	répartition stratigraphique	domaines biogéographiques
Nucula (L.) sulcata Bronn	+	+	M P Q A	m a n
Nuculana (L.) pella (L.)		+	(M)P Q A	m a
Yoldia (Y.) oblongoides (Wood)	+	+	(P)Q	n
Barbatia (B.) barbata (L.)	+	+	M P Q A	m a t(n)
Barbatia (A.) clathrata (Defr.)		+	M P Q A	m a t(n)
Striarca lactea (L.)		+	M P Q A	m a t n
Limopsis (P.) anomala coxi Glib. & V.de P.		+	P	a n
Limnopsis (P.) recisa (Defr.)	+	+	M P	m a t
Glycymeris (G.) sp.	+	+		
Mytilus (M.) edulis L.	+	+	P Q A	(m)a n
Modiolus (M.) modiolus (L.)		+	P Q A	m a n
Chlamys (C.) pusio (L.)	+	+	M P Q A	m a t n
Chlamys (C.) varia (L.)	+	+	M P Q A	m a n
Chlamys (A.) opercularis (L.)	+	+	M P Q A	m a n
Lima (L.) lima (L.)	+		M P Q A	m a t n
Ostrea (O.) edulis L.	+	+	M P Q A	m a n
Parvilucina (M.) dentata (Defr.)		+	M P	m a t n
Lucinoma borealis (L.)	+	+	M P Q A	m a n
Cardita (C.) calyculata (L.)		+	(M)P Q A	m a
Glans (C.) aculeata ampla (Chav.& Coat.)	+	+	P Q?	a n
Pteromeris (C.) corbis (Phil.)	+	+	M P Q A	m a t n
Astarte (A.) omalii omalii Jonk.	+	+	P Q	a n
Astarte (A.) sulcata redonensis L.-Rage		+	R	r
Digitaria digitaria (L.) *forma lanceolata*		+	R	r
Acanthocardia (A.) erinaceum (Lmk)		?	P Q A	m a n
Spisula (S.) solida ovalis (Sow.)	+	+	P Q	a n
Spisula subtruncata triangula (Ren.)	+		M P	m a t n
Tellina (A.) crassa crassa (Penn.)	+		P Q A	m a n
Gastrana sp.	+			

Si, à une simple lecture, la liste des espèces de ces deux prélèvements ne laisse pas apparaître de différences notables, il en est tout autrement à l'examen des coquilles (taille, épaisseur, couleur, fréquence des espèces). Dans les deux cas, la quasi-totalité des coquilles sont brisées. Les Pteriomorphia et les Heterodonta sont comparables à ceux des gisements n° 17 (réserve de chasse de l'Ermitage 2) et n° 21 (est de Rougeville, niveau inférieur) ; on notera l'absence des Veneridae et des Myoida qui, de toute façon, sont rares ou absentes dans les autres gisements, à l'exception, parfois, de *Corbula (V.) gibba gibba*. A la Bréchollerie, quelques espèces seulement dominent la faune.

Le prélèvement 19-24 m se caractérise par la taille relativement grande des nombreux fragments coquilliers (en moyenne 20 mm), appartenant presque tous à quatre espèces dominantes, *Barbatia (B.) barbata, Glycymeris (G.)* sp. *Ostrea (O.) edulis* et *Spisula (S.) solida ovalis*, la dernière étant de loin la plus fréquente (charnières et régions umbonales complètes). Ces espèces, reconstituées, sont d'assez grande taille (environ 40 mm de longueur pour *Glycymeris* et *Spisula*) et comparables en cela aux plus gros spécimens du prélèvement 18-22 m du gisement n° 21 (est de Rougeville, niveau inférieur). Plusieurs espèces de *Chlamys* sont représentées par de rares fragments. Seuls les spécimens de *Limopsis (P.) recisa, Pteromeris (C.) corbis* et de quelques stades juvéniles de *Cardita (C.) calyculata* et de *Spisula (S.) solida ovalis*, tous de petite taille, sont entiers. On retiendra aussi la couleur presque uniformément grise des coquilles et, en général, la forte épaisseur des tests.

Contrairement au prélèvement précédent, le prélèvement 24-28 m se compose surtout de très nombreux petits débris coquilliers, souvent inférieurs à 10 mm, et renferme principalement des fragments de *Nucula (L.) sulcata* (pl. I, 4-6). Ensuite, viennent plusieurs espèces de *Chlamys* ainsi que *Yoldia (Y.) oblongoides* ; parmi les espèces à test épais, retenons d'abord *Spisula (S.) ovalis* (les plus gros fragments comprenant toute la région umbonale et atteignant parfois 30 mm) et ensuite *Ostrea (O.) edulis*. Les espèces entières sont rares et toujours de très petite taille ; citons par ordre de fréquence *Digitaria digitaria* forma *lanceolata, Pteromeris (C.) corbis, Parvilucina (M.) dentata, Limopsis (P.) recisa*, ainsi que de rares stades juvéniles de Carditidae.

2. Signification de la faune

Espèces caractéristiques du Pliocène atlantique : *Nucula (N.) nucleus* s. s., *Nuculana (L.) pella, Limopsis (P.) anomala coxi, Modiolus (M.) modiolus, Chlamys (C.) varia, Cardita (C.) calyculata, Glans (C.) aculeata ampla, Astarte (A.) omalii* s. s., *Astarte (A.) sulcata redonensis, Digitaria digitaria* forma *lanceolata* (pl. IV, 3), *Spisula (S.) solida ovalis, Tellina (A.) crassa* s. s.

Espèces connues jusque-là dans le Redonien par citation seulement : *Acanthocardia (A.) erinaceum ?* (pl. IV, 6).

Espèces nouvelles pour la région :

— *Yoldia (Y.) oblongoides* **** Lenham Beds, Waltonien ; Newbournien-Icénien.

Ce gisement s'oppose, nous venons de le voir, aux gisements pliocènes précédemment décrits, par la taille relativement grande des coquilles. Mais l'analyse détaillée des faunes

des deux prélèvements ne montre pas de différences majeures avec l'ensemble des espèces des gisements les plus riches, le n° 17 (réserve de chasse de l'Ermitage 2) et le n° 21 (est de Rougeville), hormis la grande abondance de *Yoldia (Y.) oblongoides*, abondance déjà remarquée dans le niveau supérieur du gisement n° 21. Grâce aux très nombreuses valves de *Spisula (S.) solida ovalis* (pl. IV, 5 et 7) (tendant parfois vers *Spisula (S.) solida solida)*, on peut admettre que les variations portant sur la forme plus ou moins arquée des bords dorsaux antérieur et postérieur des valves ne sont que des variations individuelles. La sous-espèce actuelle, *Spisula (S.) solida solida*, connue dans la Manche et l'Atlantique, montrant des bords antérieur et postérieur nettement déclives, comprend toutefois des variants à région umbonale bien arquée, du type *Spisula (S.) solida ovalis*, mais ceux-ci sont plus rares. D'où la difficulté de séparer les deux sous-espèces, dont l'une est du Pliocène (*ovalis*), l'autre du Pliocène supérieur-Actuel (*solida*). Si, au Bosq d'Aubigny, j'ai reconnu la sous-espèce moderne (Lauriat-Rage, 1981 : 138), ce qui m'a conduit à placer ce gisement au-dessus de Gourbesville, en revanche, il semble qu'ici le stade moderne n'est pas tout à fait réalisé.

En conclusion, je considère que, renfermant *Yoldia (Y.) oblongoides*, le gisement de la Bréchollerie doit être placé au-dessus de l'ensemble Gourbesville-Cricqueville.

Âge : Pliocène III (Redonien réeent) ; équivalent nordique : Gedgravien supérieur.

Gisement n° 27 (= S. 48)

Rauville-la-Place (hameau Cauvin 2)

1. Caractéristiques du gisement et composition de la faune

Mode d'extraction : sondage ayant fourni des Bivalves sur 10,2 m d'épaisseur, entre 3,3 et 13,5 m de profondeur ; profondeur des points de prélèvements : 3,3-4,4 m ; 4,4-5,1 m ; 5,1-6,2 m ; 8,1-8,5 m ; 9,2-10,7 m ; 10,7-12 m ; 12-13,5 m.

On observe, tout au long de ce sondage, de grandes variations dans la composition faunique des divers prélèvements ; dans chacun d'eux, les coquilles sont brisées (petits fragments), exception faite de l'une ou l'autre valve entière.

Le prélèvement 3,3-4,4 m, de couleur jaune, se caractérise par la grande abondance de *Spisula (S.) subtruncata triangula* (nombreuses charnières et régions umbonales complètes), accompagnée principalement de fragments de *Nuculana (L.) pella* (pl. I, 9) ; les autres espèces sont rares. Le prélèvement 4,4-5,1 m se compose d'un mélange de coquilles jaunes et grises, où *Spisula (S.) subtruncata triangula* et *Nuculana (L.) pella* dominent toujours, et où *Nucula (N.) nucleus nucleus* est assez bien représentée. Le prélèvement 5,1-6,2 m renferme en grande majorité des coquilles de couleur grise et noire. A *Spisula (S.) subtruncata triangula* et *Nuculana (L.) pella*, toujours abondantes, s'ajoutent notamment de gros fragments d'*Ostrea (O.) edulis* (30 mm) et *Lucinoma borealis*.

Les trois prélèvements suivants (8,1-8,5 m ; 9,2-10,7 m ; 10,7-12 m) se composent presque exclusivement de débris d'Huîtres de toutes tailles et le prélèvement 12-13,5 m renferme surtout des petits fragments de *Chlamys (C.) varia*.

TABLEAU X. — Répartition des Bivalves du hameau Cauvin 2 en fonction de la profondeur, avec signification stratigraphique et biogéographique de chaque espèce. (Signification des lettres voir tableau II.)

HAMEAU CAUVIN 2 (gisement n°27)	3,3–4,4 m	4,4–5,1 m	5,1–6,2 m	8,1–8,5 m	9,2–10,7 m	10,7–12 m	12–13,5 m	répartition stratigraphique	domaines biogéographiques
Nucula (N.) nucleus nucleus (L.)	+	+	+		+			M P Q A	m a n
Nuculana (L.) pella (L.)	+	+	+				+	(M)P Q A	m a
Chlamys (C.) pusio (L.)						+		M P Q A	m a t n
Chlamys (C.) varia (L.)	+	+		+	+	+	+	M P Q A	m a n
Pododesmus (H.) squamulus (L.)	+				+			M P Q A	m a n
Ostrea (O.) edulis (L.)	+		+	+	+	+		M P Q A	m a n
Lucinoma borealis (L.)	+	+	+					M P Q A	m a n
Astarte (A.) omalii omalii Jonk.			+					P Q	a n
Digitaria digitaria (L.) *forma lanceolata*		+						R	r
Cerastoderma edule (L.)	+							P Q A	m a n
Spisula (S.) subtruncata triangula (Ren.)	+	+	+		+	+	+	M P	m a t n
Ensis ensis (L.)	+		+					(M?P Q A	m a n
Tellina (A.) crassa crassa (Penn.)	+							P Q A	m a n
Timoclea (T.) ovata (Penn.)	+							M P Q A	m a t n
Tapetinae	+		+						

2. Signification de la faune

Espèces caractéristiques du Pliocène atlantique : *Nucula (N.) nucleus* s. s., *Nuculana (L.) pella, Chlamys (C.) varia, Astarte (A.) omalii* s. s., *Digitaria digitaria* forma *lanceolata, Cerastoderma edule, Ensis ensis, Tellina (A.) crassa* s. s.

Espèce connue jusque-là dans le Redonien par citation seulement : *Pododesmus (H.) squamulus.*

Espèces nouvelles pour la région : aucune.

Il est difficile de comparer la faune du hameau Cauvin 2 avec celle des gisements les plus riches étudiés précédemment (réserve de chasse de l'Ermitage 2, est de Rougeville — niveau inférieur, la Bréchollerie). En effet, la faune, très hétérogène à l'intérieur de ce gisement pour des raisons faciologiques, est aussi beaucoup plus pauvre en espèces, surtout en ce qui concerne les Heterodonta, excepté *Spisula (S.) subtruncata triangula* (pl. IV, 8).

Toutefois, la présence d'*Astarte (A.) omalii omalii* (mêmes morphotypes qu'à Gourbesville) et de *Digitaria digitaria* forma *lanceolata*, endémique du Redonien de la Manche, ainsi que l'absence de *Yoldia (Y.) oblongoides*, me permettent de classer ce gisement dans le groupe du Pliocène supérieur, Gourbesville-Cricqueville.

Âge : Pliocène III (Redonien récent) ; équivalent nordique : Gedgravien.

Gisement n° 28 (= S. 50)

Rauville-la-Place (la Brumannerie 1)

1. Caractéristiques du gisement et composition de la faune

Mode d'extraction : sondage au rotary ayant fourni des Bivalves sur 19 m d'épaisseur, entre 5 et 24 m.

Tableau XI. — Répartition des Bivalves de la Brumannerie 1 en fonction de la profondeur, avec signification stratigraphique et biogéographique de chaque espèce. (Signification des lettres voir tableau II.)

LA BRUMANNERIE 1 (gisement n°28)	5-24 m	répartition stratigraphique	domaines biogéographiques
Nucula (N.) nucleus nucleus (L.)	+	M P Q A	m a n
Yoldia (Y.) semistriata (Wood)	+	P Q	n
Striarca lactea (L.)	+	M P Q A	m a t n
Ostrea (O.) edulis L.	+	M P Q A	m a n
Hiatella (H.) arctica (L.)	+	M P Q A	m a t n

Les Bivalves de ce gisement proviennent d'un seul niveau, sont peu nombreux, rubéfiés et mêlés à des débris de grandes Térébratules, ainsi qu'à des concrétions calcaires. À l'exception d'un fragment de *Hiatella (H.) arctica*, la faune est composée de Pteriomorphia (Taxodontes presque exclusivement) et, parmi eux, les valves de *Striarca lactea*, généralement entières et de grande taille (L = 20 mm), sont relativement abondantes (une quinzaine de spécimens).

2. **Signification de la faune**

Espèces caractéristiques du Pliocène atlantique : *Nucula (N.) nucleus* s. s.

Espèces nouvelles pour la région :

— *Yoldia (Y.) semistriata* * Gedgravien — Waltonien.

Ce gisement, de faciès ferrugineux et à faune pauvre, renferme deux espèces intéressantes, *Yoldia (Y.) semistriata* (pl. II, 9) et des individus de grande taille de *Striarca lactea* (pl. II, 10). Dans les gisements précédemment étudiés, il est assez aisé d'identifier *Yoldia (Y.) oblongoides* grâce aux abondantes charnières (resilifer bien développé). On ne peut rapporter l'unique spécimen bivalve de la Brumannerie à cette espèce, qui s'en éloigne par des différences morphologiques importantes en ce qui concerne la région postérieure. En effet, si chez *Yoldia (Y.) oblongoides* le bord postérieur est relativement pincé (mais non rostré comme on l'observe par exemple chez *Nuculana (N.) minuta*), en revanche, chez *Yoldia (Y.) semistriata*, ce bord est largement arrondi, moins toutefois que le bord antérieur ce qui confère à la coquille une faible dissymétrie. Par ailleurs, le bord dorsal postérieur de *Yoldia (Y.) oblongoides* est légèrement excavé et délimité par un écusson peu saillant, alors que chez *Yoldia (Y.) semistriata*, ce bord est presque rectiligne et délimité par un écusson redressé, formant une crête saillante. Ces différences morphologiques sont clairement mises en évidence par V. R. Altena *et al.* (1962 : pl. 1, fig. 9 et 11). On notera cependant que les stries concentriques observées sur le spécimen bivalve du Cotentin sont nettement moins marquées que chez les individus nordiques. Du point de vue stratigraphique, *Yoldia (Y.) semistriata*, connue des Pliocène et Pléistocène nordiques, semble relayer *Yoldia (Y.) glaberrima* (Münster) (= *longa* Bellardi) des Oligocène et Miocène européens.

Dans les gisements redoniens du golfe de la Loire, *Striarca lactea* n'atteint généralement pas de grandes dimensions (rarement 15 mm de longueur pour les plus grands spécimens). Toutefois, j'ai trouvé, dans les collections de la Sorbonne, provenant de Thorigné (Maine-et-Loire), un individu de grand taille (L = 20 mm) en tous points semblable aux valves récoltées à la Brumannerie. Ceux-ci sont également voisins des morphotypes des Crags des Pliocène et Pléistocène anglais (collections du British Museum (N. H.) et du Geological Survey, Londres). Ils se rapprochent aussi de *Striarca lactea scaldensis* V. R. Altena, du Miocène hollandais, par leur fine ornementation radiaire, recoupée assez régulièrement par des arrêts de croissance, mais ont une forme beaucoup moins galbée que la sous-espèce nordique.

En conclusion, les Bivalves de ce gisement, associés à de grandes Térébratules, s'intègrent bien dans la faune pliocène de la formation dite de la Brumannerie (sables et calcaires concrétionnés), qui pourrait se situer, d'après les arguments géologiques (Pareyn, 1984) et paléontologiques au-dessous de l'ensemble Gourbesville — Cricqueville-en-Bessin.

Âge : Pliocène II (Redonien moyen).

Gisement n° 30 (= F.25 B)

Saint-Sauveur-le-Vicomte (la Gathe)

1. Caractéristiques du gisement et composition de la faune

Mode d'extraction : Forage en grand diamètre ayant fourni des Bivalves sur 45 m d'épaisseur entre 14,5 et 59,5 m de profondeur ; profondeur des points de prélèvements : 14,5-17 m ; 17-19,5 m ; 34,5-37 m ; 48-49,5 m ; 49,5-52 m ; 52-54,5 m ; 56-59,5 m.

Tableau XII. — Répartition des Bivalves de la Gathe en fonction de la profondeur, avec signification stratigraphique et biogéographique de chaque espèce. (Signification des lettres voir tableau II.)

LA GATHE (gisement n°30)	Pliocène III		Pliocène I				répartition géographique	domaines biogéographiques
	14,5-17 m	17-19,5 m	48-49,5 m	49,5-52 m	52-54,5 m	56-59,5 m		
Yoldia (Y.) semistriata (Wood)	?						P Q	n
Barbatia (B.) barbata (L.)			+	+			M P Q A	m a t(n)
Limopsis (P.) anomala coxi Glib.& V. de P.				+	+		P	a n
Glycymeris (T.) colossea Chav.& Coat.			+	+	+		P Q?	a
Mytilus (M.) edulis L.					+		P Q A	(m)a n
Chlamys (A.) opercularis (L.)			+	+		+	M P Q A	m a n
Pecten (P.) maximus (L.)				+	+		P Q A	m a n
Ostrea (O.) edulis L.			+	+	+	+	M P Q A	m a n
Chama (C.) gryphina Lmk				+	+		M P Q A	m a t n
Cardita (C.) elongata Bronn				?			M P Q	m a t
Glans (C.) aculeata ampla (Chav.& Coat.)				+	+		P Q?	a n
Pteromeris (C.) corbis (Phil.)			+		+		M P Q A	m a t n
Megacardita striatissima (Caill.)			+	+	+		P Q?	a
Astarte (A.) omalii omalii Jonk.			+	+	+		P Q	a n
Astarte (D.) excurrens excurrens Wood				+			P	a n
Goodallia triangularis (Mtg.)					+		M P Q A	m a t n
Crassatina (C.) concentrica (Duj.)				+			M(P)	m a t
Cerastoderma edule (L.)	+						P Q A	m a n
Mactra (M.) corallina (L.) s.l.		?					P Q A	m a n
Lutraria (L.) lutraria (L.)				+			M P Q A	m a t n
Venus (V.) casina L.				+			M P Q A	m a t n
Clausinella scalaris (Bronn)				+	+		M P(Q)	m a (n?)
Corbula (V.) gibba gibba (Ol.)				+			M P Q A	m a t n

De toute évidence, ce forage traverse des niveaux stratigraphiques différents. Sur sept prélèvements, les quatre premiers, ainsi que le dernier, sont pauvres en fossiles ; seuls, deux prélèvements ont livré une faune assez riche et très intéressante. Ce gisement fera ultérieurement l'objet d'une étude détaillée.

Dans les prélèvements 14,5-17 m et 17-19,5 m, on compte de rares Bivalves, à coquille fragile et d'aspect récent (un spécimen entier). Il n'y a pas de Bivalve dans le prélèvement 34-37 m, mais seulement une valve cassée de grande Térébratule provenant d'un niveau ferrugineux. Les trois prélèvements suivants (de 48 à 54 m) se caractérisent par la couleur blanche, grise ou noire des coquilles, leur taille souvent grande (atteignant 70 mm de hauteur chez *Glycymeris (T.) colossea* et *Ostrea (O.) edulis*) et parfois la forte épaisseur de leur test, principalement chez *Astarte (A.) omalii omalii* (formation de Selsouëf).

Dans le détail, le prélèvement 48-49,5 m ne renferme que sept espèces, pour la plupart représentées par un spécimen seulement. En revanche, le prélèvement 49,5-52 m, de loin le plus riche, comprend une vingtaine d'espèces, généralement de grande taille, dont certaines sont assez fréquentes : *Glycymeris (T.) colossea, Ostrea (O.) edulis, Megacardita striatissima, Astarte (A.) omalii omalii* ; il y figure un nombre important de grandes valves de Térébratules ainsi que des concrétions algaires. Notons la présence de deux fragments de *Barbatia (B.) barbata* de grande taille. Cette faune comprend aussi des stades jeunes de *Glycymeris, Chlamys, Glans, Astarte* s. s., ainsi qu'une *Crassatina*, se situant tous autour de 15 mm de longueur, et, de plus petites dimensions, *Limopsis (P.) anomala coxi* et *Astarte (D.) excurrens excurrens* (3 à 10 mm).

Il n'y a pas de différence importante entre le prélèvement 52-54,5 m et le prélèvement précédent. Remarquons, toutefois, un nombre moins élevé d'espèces (une douzaine), l'absence de *Barbatia (B.) barbata*, la rareté d'*Astarte (A.) omalii omalii*, la très grande taille de *Glycymeris (T.) colossea* et *Glans (C.) aculeata ampla* ; l'ensemble de la faune est mêlé, là aussi, à de grandes Térébratules. On a également récolté de très petites espèces (2 à 3 mm) appartenant aux genres *Limopsis, Pteromeris* et *Goodallia*.

Le prélèvement le plus profond (56-59,5 m) provient, comme le prélèvement 34,5-37 m, d'un niveau ferrugineux à Térébratules, et, comme celui-ci, est pauvre en espèces. Seul, *Chlamys (A.) opercularis* est relativement abondant (8 spécimens) et sur tous les éléments de la faune sont fixées des concrétions calcaires comprenant de nombreux débris fossilifères.

2. Signification de la faune

Espèces caractéristiques du Pliocène atlantique : *Limopsis (P.) anomala coxi, Pecten (P.) maximus, Glans (C.) aculeata ampla, Megacardita striatissima, Astarte (A.) omalii* s. s., *Astarte (D.) excurrens* s. s., *Cerastoderma edule*.

Espèces nouvelles pour la région :

niveau supérieur :

— *Yoldia (Y.) semistriata* * Gedgravien-Waltonien.
— *Mactra (M.) corallina* s. l ? * Pliocène-Actuel, Eurafrique ;

niveau inférieur :

— *Glycymeris (T.) colossea* *** non Waltonien

L'intérêt de ce forage est évident, car il traverse de façon certaine des argiles grises (Bosq d'Aubigny ?), puis du Pliocène moyen et inférieur. En ce qui concerne le niveau des argiles grises, je me bornerai à citer, parmi les rares Bivalves recueillis entre 14,5 et 19,5 m, *Cerastoderma edule* et *Spisula (S.) solida* s. l. (stade juvénile). Aucune espèce exclusivement pliocène ne figure dans ce niveau.

Les trois prélèvements les plus riches, s'étendant de 48 à 54,5 m, ont livré *Megacardita striatissima*, caractéristique du Redonien (Pliocène atlantique). Dans cette séquence, on relève aussi *Limopsis (P.) anomala coxi, Pecten (P.) maximus, Glans (C.) aculeata ampla, Astarte (A.) omalii omalii* et *Astarte (D.) excurrens excurrens*, communs au Pliocène nordique (Gedgravien) et au Redonien de la Manche (Gourbesville). Ajoutons quelques espèces méridionales également signalées à Gourbesville, telles *Barbatia (B.) barbata, Chama (C.) gryphina, Cardita (C.) calyculata, Crassatina (C.) concentrica*. La forte épaisseur des coquilles, en particulier chez *Astarte (A.) omalii omalii*, la grande taille de *Barbatia (B.) barbata*, ainsi que la présence d'un sous-genre de *Glycymeris, Tucetona*, inconnu à Gourbesville, à caractère indo-pacifique, témoignent en faveur d'un climat nettement plus chaud qu'à Gourbesville.

En conclusion, d'un point de vue stratigraphique, en accord avec les données géologiques proposées par Pareyn (1984), les trois prélèvements précités, provenant tous d'un sable grossier gris (Formation de Selsouëf), se situent dans le Pliocène, entre la Formation des Bohons reconnue à la base (56-59,5 m) et celle de la Brumannerie reconnue au-dessus (34-37 m). La Formation de Selsouëf, caractérisée par un climat chaud, trouve naturellement sa place dans le Pliocène inférieur.

Âge : Pliocène III (Redonien récent, niveau du Bosq d'Aubigny) — Pliocène II (Redonien moyen, niveau de la Brumannerie) — Pliocène I (Redonien inférieur, niveau Selsouëf et niveau des Bohons).

II. SIGNIFICATION STRATIGRAPHIQUE, PALÉOBIOGÉOGRAPHIQUE ET PALÉOÉCOLOGIQUE DES GISEMENTS D'APRÈS LES BIVALVES

L'analyse faunistique détaillée de chacun de ces nouveaux gisements m'a permis de les replacer dans le contexte général du Pliocène déjà connu de Normandie. J'ai en effet attribué (1981) au Pliocène (Redonien récent) les quatre gisements mentionnés en début de note, disparus aujourd'hui et figurant dans la littérature : Gourbesville, le Mesnil-Vigot, Saint-Georges-de-Bohon, le Bosq d'Aubigny. Si la découverte récente (Pareyn *et al.*, 1984) du gisement pliocène de Cricqueville-en-Bessin dans le Calvados (faciès de Gourbesville), repousse quelque peu vers l'est les limites paléogéographiques du Redonien connues jusqu'alors, tous les autres gisements (anciens et nouveaux) sont, nous l'avons dit, groupés dans deux bassins séparés du département de la Manche, celui de Carentan et celui de Saint-Sauveur-le-Vicomte, avec Gourbesville pour limite nord et le Bosq d'Aubigny pour limite sud (fig. 1, 2 et 3). L'aspect nouveau de cette étude réside principalement dans le fait

que les faunes récemment découvertes, provenant de sondages et forages (les gisements de surface sont rares, épuisés ou disparus), mettent en évidence, dans deux cas, deux ou plusieurs niveaux stratigraphiques différents et permettent, par ailleurs, d'envisager un échelonnement stratigraphique de huit gisements (tout ou partie) dans le Pliocène III.

Rappel historique des gisements déjà connus

Basse-Normandie

En ce qui concerne les Bivalves, les rares gisements pliocènes du Cotentin connus dans le passé se présentent sous des faciès très différents, rendant par là les corrélations stratigraphiques difficiles. En effet, si, d'un côté, on ne comptait que quatre gisements, d'un autre côté, on comptait trois faciès :

— Gourbesville et le Mesnil-Vigot : sables calcareux (faluns) ;
— Saint-Georges-de-Bohon : sables ferrugineux à Térébratules ;
— le Bosq d'Aubigny : argiles.

Le gisement de Gourbesville, découvert par Vasseur en 1879, a donné lieu à un travail très intéressant, quoiqu'ancien, qui nous vient de Dollfus (1906). Malheureusement, ce gisement n'est plus visible aujourd'hui. Lors d'une visite de reconnaissance en 1969, É. Buge et moi-même n'en avons trouvé trace (petite carrière envahie par la végétation). J'ai pu dénombrer dans ma thèse soixante-dix-neuf espèces (1981 : 131 et 168), la plupart retrouvées dans les collections des Universités de Paris et de Caen, ainsi que dans la collection Dollfus. Ce gisement du Redonien récent (Pliocène III), à caractère nordique, renferme de nombreuses espèces du Gedgravien (Pliocène anglais).

Le Mesnil-Vigot, gisement très pauvre, a fourni une *Astarte* seulement (quelques valves) que j'ai rapportée à *Astarte (D.) excurrens excurrens*, sous-espèce connue du Pliocène nordique (1981 : 137 et 169 ; 1982 : 80). Ces spécimens sont en tout point comparables aux morphotypes de cette même sous-espèce provenant de Gourbesville (grande taille des adultes), permettant de réunir (âge et faciès) les deux localités.

À Saint-Georges-de-Bohon, Vieillard et Dollfus (1875) ont récolté de grandes Térébratules auxquelles étaient associées des Bivalves. J'ai retenu six espèces de la sous-classe des Pteriomorphia (1981 : 139 et 171), auxquelles on peut encore ajouter une *Astarte* nordique, *Astarte (A.) omalii omalii*. Malgré quelques influences méridionales (Arcidae), cette faune est bien caractéristique du Pliocène atlanto-nordique.

Les argiles fossilifères du Bosq d'Aubigny, découvertes par Caumont (1835) firent l'objet d'une publication de Deslongchamps qui donna en 1853 une petite liste d'espèces, précisée et complétée plus tard par Vieillard et Dollfus (1875). En 1969, avec É. Buge, j'ai pu situer assez facilement le site où les argiles affleuraient localement et reconnaître quelques débris de coquilles. J'ai retenu seize espèces (1981 : 138 et 167) pour ce gisement que je situe à un niveau élevé du Pliocène ; il pourrait même être le plus récent gisement redonien. À cela, j'ajoute que j'ai retrouvé dans mes documents une petite liste de fossiles

se rapportant au niveau du Bosq d'Aubigny, qui m'avait jadis été communiquée par M. Rioult à Caen et que j'ai omis de joindre à la liste des faunes dans ma thèse. Ces Bivalves proviennent principalement des Alouets (commune de Marchésieux) ; citons ; *Barbatia (B.) barbata, Glycymeris (G.) variabilis, Ostrea (O.) edulis, Spisula (S.) solida solida,* Tapetinae indet. ; par ailleurs, le bord du Bosq d'Aubigny (sur la commune de Feugères) a livré deux valves d'*Ostrea (O.) edulis.* On peut encore ajouter deux spécimens de *Spisula (S.) solida solida*, provenant du Bosq d'Aubigny même (puits du garage).

Également dans le Cotentin, il faut mentionner les Bivalves du hâvre de Blainville-sur-Mer (15 espèces). Chavan et Coatmen (1943) avaient proposé de les dater approximativement du Waltonien, qu'ils plaçaient dans le Pliocène moyen ; je les avais également classés dans le Waltonien, que je situais alors dans le Pliocène supérieur (Lauriat *in* Brébion *et al.*, 1974 : 114). Nous verrons, dans une note ultérieure, que l'âge de ce gisement est remis en question et pourrait être rapporté au Pliocène inférieur.

Une publication récente (Pareyn *et al.*, 1984) a montré l'existence d'un gisement de faluns redoniens à Cricqueville-en-Bessin (Calvados), renfermant une faune de Bivalves pliocènes, du même type que celle de Gourbesville, mais beaucoup plus pauvre (9 espèces seulement).

Haute-Normandie

Dans le domaine de la Manche orientale, deux gisements ont été étudiés : Fécamp (Bassompierre *et al.*, 1970 et 1972) et Valmont (Cavelier et Kuntz, 1974). Si les Bivalves de Fécamp sont moins marqués par les influences froides que ceux du Cotentin, c'est en raison de leur âge plus ancien (refroidissement progressif des côtes atlantiques au cours du Pliocène). Toutefois, la position abritée du gisement dans le golfe de la Manche (Pas-de-Calais fermé au Pliocène) renforce le caractère chaud de la faune (Lauriat-Rage et Vergnaud Grazzini, 1977).

Discussion

Je ne discuterai pas ici de l'attribution du Redonien, selon les auteurs, au Miocène supérieur ou au Pliocène, sujet développé dans ma thèse (1981 : 13 et suiv.). Je préciserai seulement mon point de vue. J'ai échelonné le Redonien (transgression locale) dans la plus grande partie du Pliocène : de — 5,3 M. A. à la base pour les plus anciens gisements qui sont aussi les plus chauds (majorité des gisements angevins, Haute-Normandie) à environ — 3 M. A., période correspondant à la phase « froide » du Pliocène (Oléron, Vendée, trois gisements sur quatre du Cotentin anciennement connus). Des mesures isotopiques ($^{18}0/^{16}0$) effectuées sur *Astarte (A.) omalii* provenant de Gourbesville et Palluau (le second en Vendée) confirment le caractère « froid » des gisements, tandis que les mêmes mesures sur des spécimens provenant de Fécamp et Saint-Clément-de-la-Place (le second en Anjou) indiquent un climat chaud. Entre ces extrêmes, se situent plusieurs gisements de l'Anjou et de la Basse-Loire (échelonnement stratigraphique et paléoclimatique) (Lauriat-Rage et Vergnaud Grazzini, 1977 ; Lauriat-Rage, 1981 : 127, fig. 7).

L'étude des onze nouveaux gisements du Cotentin présentent un double intérêt stratigraphique : 1) reconnaissance en Basse-Normandie d'un Pliocène I (Redonien inférieur) et d'un Pliocène II (Redonien moyen), et mise en évidence de la succession stratigraphique en un même lieu (forage de la Gathe) de formations appartenant aux Pliocènes I, II et probablement III ; 2) essai d'un classement stratigraphique de la plupart des nouveaux gisements tout au long du Pliocène III, dont la période comprise entre — 3 M. A. et environ — 1,8 M. A., c'est-à-dire jusqu'à la limite Plio-Pléistocène.

En accord avec les données géologiques de Cl. PAREYN, l'étude paléontologique des gisements et de leurs faunes me conduit à présenter aujourd'hui des résultats synthétiques, établis en partie grâce à la coupe du forage de la Gathe (gisement n° 30).

Pliocène I

Le forage de la Gathe, qui met en évidence plusieurs formations successives, avec le niveau des Bohons [1] à la base et probablement celui du Bosq d'Aubigny au sommet (p. 31), m'a permis de confirmer l'attribution de la formation des sables gris à oncolites de Selsouëf, située au-dessus du niveau des Bohons (PAREYN, 1984 : 222, tabl. I), au Pliocène I. En effet, la faune de Bivalves du niveau de Selsouëf, qui se caractérise par une majorité d'espèces redoniennes, c'est-à-dire du Pliocène atlantique, est toutefois bien différente de celle de Gourbesville, ne serait-ce que par l'absence de nombreuses espèces nordiques et par la grande taille des coquilles ainsi que la forte épaisseur de leur test, généralement en relation avec un climat chaud. Ce niveau renferme, en outre, *Tucetona*, sous-genre de *Glycymeris* à côtes radiaires, connu au Pliocène dans les mers américaines et également présent, actuellement, dans le sud-ouest Pacifique. Les formes indo-pacifiques, qui sont abondantes sur les côtes atlantiques françaises à l'Éocène (LAURIAT-RAGE *in* BLONDEAU *et al.*, 1982 : 128), deviennent peu nombreuses à partir du Miocène (LAURIAT-RAGE et MAKINSKY, 1983) et il est tout à fait exceptionnel d'en rencontrer au Pliocène, les influences chaudes provenant alors des provinces méditerranéenne et sénégalienne.

Venant sous le niveau de Selsouëf (coupe la Gathe), le niveau des Bohons, pauvre en fossiles, constitue normalement la base du Pliocène I. Le falun roux des Bohons, caractérisé ici par la présence de *Chlamys (A.) opercularis* (espèce absente des faluns miocènes dans la région) et d'*Ostrea (O.) edulis*, est l'équivalent faciologique du Savignéen. Le faciès voisin de ces deux niveaux tient sans doute au fait que les conditions de milieu ont peu varié entre le Miocène et la base du Pliocène.

Pliocène II

Par ailleurs, le niveau de la Brumannerie (nombreuses Térébratules) a été retrouvé à la Gathe, au-dessus des sables de Selsouëf (PAREYN, 1984 : 222, tabl.) et doit se placer dans le Pliocène II. Par comparaison avec les gisements redoniens du golfe ligérien, le gisement de la Brumannerie près Rauville-la-Place, qui a donné son nom à la formation précitée lui

1. Ne pas confondre « niveau des Bohons » (= formation des faluns roux de Saint-Georges-de-Bohon) (PAREYN, 1984 : 222, tabl.), daté du Pliocène I et auquel on peut vraisemblablement rapporter le gisement « classique » de Saint-Georges-de-Bohon, avec divers gisements du Pliocène III (Gedgravien) situés sur la commune de Saint-Georges-de-Bohon.

étant assimilable, occupe à mon avis une position stratigraphique intermédiaire entre le Redonien ancien et le Redonien récent ; bien que peu différent du gisement de Gourbesville, le gisement de la Brumannerie, qui renferme une faune pauvre, montre quelques affinités avec le gisement de Thorigné en Anjou, grâce à la présence de plusieurs valves de *Striarca lactea* de grande taille (p. 29), situant ce dernier au-dessus du Redonien inférieur.

Pliocène III

Revenons à la coupe de la Gathe ; au sommet, on rencontre des argiles grises très pauvres en fossiles, probablement du type Bosq d'Aubigny, niveau élevé du Pliocène III. Toutefois, on ne peut exclure complètement le passage Plio-Pléistocène ou le niveau Pléistocène de Saint-Sauveur-de-Pierrepont. D'après les Foraminifères (Y. Le Calvez, note en préparation), il s'agit d'une faune appauvrie, sans forme caractéristique du Pléistocène.

Dans le forage de la Gathe, manque le niveau de Gourbesville. Mais la reconnaissance, au moyen des Bivalves, de deux niveaux stratigraphiques différents dans le Pliocène III est chose acquise : Gourbesville — Cricqueville à la base et le Bosq d'Aubigny au sommet (Lauriat-Rage, 1981 : 138 ; Lauriat-Rage *in* Pareyn *et al.*, 1984 : 384).

Tableau XIII. — Position stratigraphique des gisements à Bivalves de Basse-Normandie.

AGES	FORMATIONS	GISEMENTS
PLEISTOCENE ANCIEN = Newbournien à Icénien	Saint-Sauveur-de-Pierrepont	Ruisseau Bucaille (n°1)
passage Plio-Pléistocène = Waltonien		Village des Gardinières (n°4)
PLIOCENE III = Gedgravien	le Bosq d'Aubigny	la Gathe (n°30) Est de Rougeville (n°21) la Bréchollerie (n°26) Réserve de chasse de l'Ermitage[2] (n°17) l'Ange [1] (n°23)
	Gourbesville = Cricqueville	le Quesney (n°25) Est de Rougeville (n°21) Hameau Cauvin[2] (n°27)
PLIOCENE II	la Brumannerie	la Brumannerie [1] (n°28) le Bosq (n°22) la Gathe (n°30)
PLIOCENE I	Selsouëf	la Gathe (n°30)
	les Bohons	la Gathe (n°30)
MIOCENE	Bléhou, Picauville	

Ainsi, la succession stratigraphique des principales formations pliocènes en Basse-Normandie est établie : Pliocène I (les Bohons, puis Selsouëf) ; Pliocène II (la Brumannerie) ; Pliocène III (Gourbesville, puis le Bosq d'Aubigny) (tabl. I).

En outre, j'ai pu retenir quatre types de gisements dans la zone supérieure du Pliocène III (tabl. XIII), qui devraient correspondre approximativement, en partie au moins, au niveau du Bosq d'Aubigny, bien qu'ils ne se présentent pas sous un faciès argileux, sauf à la Gathe (prélèvement au sommet) et, par conséquent, ne renferment pas forcément les mêmes espèces, pour des raisons écologiques. D'où la difficulté d'établir des corrélations stratigraphiques précises entre les gisements argileux (rares) et les gisements sablo-calcareux (fréquents) (Lauriat-Rage, 1981 : 16). Ces quatre sous-ensembles sont définis par la présence ainsi que par la fréquence de certaines espèces ; j'ai pu, de cette manière, montrer l'homogénéité du niveau de Gourbesville — Cricqueville, par comparaison avec le niveau supérieur du Pliocène III. Il ressort de cette analyse que les espèces caractérisant les niveaux et leurs subdivisions sont en nombre réduit, car, pour être significatives, elles doivent figurer dans tous ces gisements ou, tout au moins, dans les limites inférieure et supérieure des tranches de temps considérés (tabl. XIV).

Espèces et sous-espèces caractérisant le Pliocène de Basse-Normandie :

— *Glans (C.) aculeata ampla*
— *Megacardita striatissima*
— *Astarte (A.) omalii omalii*
— *Astarte (D.) excurrens excurrens.*

Espèces caractérisant le Pliocène III :

— *Digitaria digitaria* forma *lanceolata*
— *Nuculana (L.) pella.*

Espèces caractérisant le niveau supérieur du Pliocène III et le Pléistocène inférieur :

— *Nuculana (N.) minuta*
— *Yoldia (Y.) oblongoides.*

Espèce caractérisant le Pléistocène inférieur :

— *Acila (T.) cobboldiae.*

On retiendra donc les observations suivantes :

— les quatre espèces citées en premier, communes à tous les niveaux du Pliocène de Basse-Normandie, caractérisent aussi le Redonien du golfe ligérien (les différences relatives aux sous-espèces étant dues à des problèmes biogéographiques) ;

— le niveau supérieur du Pliocène III (sables calcareux fossilifères équivalents probables des argiles du Bosq d'Aubigny) est caractérisé par la présence de *Nuculana (N.) minuta* et *Yoldia (Y.) oblongoides*, qui ne figurent pas dans le niveau de Gourbesville, situé juste au-dessous, justifiant ainsi le découpage en deux parties du Pliocène III ;

— la présence d'*Acila (T.) cobboldiae* atteste un âge Pléistocène inférieur ;

— toutefois la présence simultanée de *Nuculana (L.) pella* (qui se cantonne à la Méditerranée au Pléistocène) et d'*Acila (T.) cobboldiae* pourrait indiquer la limite Plio-Pléistocène.

TABLEAU XIV. — Présence et fréquence des espèces significatives.

PLEISTOCENE ANCIEN = Newbournien à Icénien	Saint-Sauveur-de-Pierrepont	n° 1: cob (+++), obl (++++), min (++) n° 4: cob (++), obl (+++), pel (+)
passage PLIO-PLEISTOCENE = Waltonien		
PLIOCENE III	le Bosq d'Aubigny	n° 30: faciès argileux du type Bosq d'Aubigny. les autres gisements: faciès sablo-calcareux n° 21 (niveau supérieur): obl (+++) n° 26: obl (++++), pel (+++), oma (+), lanc (+), a a (+) n° 17: obl (+), min (+), pel (++), ex (+), lanc (+), str (+), a a (+) n° 23: obl (+), pel (+), ex (+)
	Gourbesville = Cricqueville	n° 25: lanc (+) n° 21 (niveau inférieur): pel (++), oma (+), ex (+), lanc (+++), a a (+) n° 27: pel (++++), oma (+), lanc (++)
PLIOCENE II	la Brumannerie	n° 28: lact (++) n° 22: a a (+) n° 30 (Térébratules)
PLIOCENE I	Selsouëf	n° 30: col (+++), oma (+++), ex (+), str (+++), a a (++)
	les Bohons	n° 30: (*Chlamys* et *Ostrea*)

Signification des abréviations (à lire de bas en haut) et des signes : col = *colossea* ; oma = *omalii* ; ex = *excurrens* ; str = *striatissima* ; a a = *aculeata ampla* ; lact = *lactea* ; pel = *pella* ; lanc = *lanceolata* ; obl = *oblongoides* ; min = *minuta* ; cob = *cobboldiae* ; (*) = rare ; (**) = peu nombreuse ; (***) = nombreuse ; (****) = très nombreuse.

Dans le futur article de synthèse sur les faunes pliocènes de Normandie, figurera un tableau de répartition de toutes les espèces de Bivalves, par gisement, et sera donnée la signification stratigraphique de la faune d'après les familles les plus intéressantes. Les corrélations stratigraphiques établies par comparaison avec les Bivalves du domaine nordique me conduisent à proposer (selon HEERING, 1950 ; GLIBERT, 1958 ; BRÉBION et BRUNET, 1973 ; CAVELIER et coll., 1980 ; LAURIAT-RAGE *in* PAREYN *et al.*, 1984 ; LAUTRIDOU, 1985), les équivalences suivantes pour la base du Pléistocène, la limite Plio-Pléistocène (— 1,8 M. A.) et le Pliocène III :

— NW France (Pléistocène inférieur) ;
East Anglia (Newbournien) ;
Belgique (Merxémien) ;
Pays-Bas (Waalien).

— NW France (limite Plio-Pléistocène) ;
East Anglia (Waltonien) ;
Belgique (Scaldisien, niveau de Kallo) ;
Pays-Bas (Eburonien).

— NW France (Redonien récent, niveau du Bosq d'Aubigny) ;
East Anglia (Gedgravien supérieur) ;
Belgique (Scaldisien, niveau de Luchtbal) ;
Pays-Bas (Tiglien).

— NW France (Redonien récent, niveau de Gourbesville) ;
East Anglia (Gedgravien) ;
Belgique (Scaldisien, niveau de Kattendijk supérieur) ;
Pays-Bas (Prétiglien).

Je résumerai brièvement ici les indications paléobiogéographiques apportées par l'étude de la faune de Bivalves. On assiste, dans le domaine de la Manche, à un affrontement des influences méridionales (pour la plupart anciennement installées) et des influences nordiques, nouvellement arrivées et éliminant progressivement les premières. Grâce à la découverte d'un Pliocène I et de plusieurs gisements échelonnés dans la partie supérieure du Pliocène III, j'ai pu préciser les étapes des changements fauniques, depuis la base du Pliocène jusqu'au Pléistocène ancien déjà connu dans la région (Brébion *et al.*, 1974). D'un point de vue plus général, on peut dire que la dégradation climatique lente et ressentie par paliers, commencée après l'Éocène (le Burdigalien faisant exception car il s'agit de nouveau d'un épisode très chaud), conduit à l'élimination progressive des taxons indo-pacifiques et endémiques, ainsi qu'à la diminution du nombre total des espèces (renouvellement compris), allant de pair avec l'augmentation de la fréquence d'un certain nombre d'entre elles (tout en considérant les variations fauniques dues aux changements dans les faciès).

En Basse-Normandie, de grandes différences apparaissent d'emblée entre les faunes du Pliocène I et celles du Pliocène III, qui deviennent graduellement plus nordiques. En effet, l'association faunique du niveau des Bohons (*Chlamys* et *Ostrea*) évoque celle qui caractérise le faciès savignéen pendant le Miocène, à caractère subtropical. Par ailleurs, le niveau de Selsouëf comprend essentiellement de grandes coquilles, comme l'on en rencontre fréquemment dans les faluns miocènes de la région ou le Pliocène méditerranéen. Elles s'opposent en cela à l'ensemble des Bivalves redoniens qui comportent peu de spécimens de grande taille (Lauriat-Rage, 1981 : 115-116) ; toutefois l'âge pliocène de la formation de Selsouëf n'est pas remis en cause, compte tenu de la présence de *Pecten (P.) maximus, Astarte (A.) omalii, Astarte (D.) excurrens*. De plus, les Glycymerididae à côtes radiaires (dont *Tucetona*) sont aujourd'hui cantonnés dans les provinces tropicales et subtropicales. Autant d'arguments pour démontrer le caractère chaud de la faune du Pliocène I, en accord d'ailleurs avec l'étude des Foraminifères et des Bryozoaires (Y. Le Calvez et É. Buge, notes en préparation).

Les rares gisements se rapportant au Pliocène II (niveau de la Brumannerie) sont trop pauvres en espèces pour que l'on puisse en discuter avec précision les affinités paléobiogéographiques. Cependant, on pourra retenir que la grande taille de *Striarca lactea*, seule Arcidae subsistant actuellement sur les côtes atlantiques et ayant atteint de petites dimensions dès le Pliocène III, résulte d'un climat encore chaud et de conditions de milieu non retrouvées ensuite.

Au Pliocène III, dans la Manche, les espèces dites méridionales, c'est-à-dire celles réfugiées aujourd'hui en Méditerranée, ne sont pas toutes éliminées au profit des espèces nordiques ; on peut classer ces formes méditerranéennes en deux catégories : d'un côté, les espèces vastement réparties dans toute l'Europe depuis le Miocène, qui n'ont pas encore abandonné le domaine atlantique grâce à une certaine adaptation, et qui sont les plus nombreuses (principalement Arcidae et Carditidae), d'un autre côté, quelques espèces qui ont fait le chemin inverse et qui sont donc remontées dans la Manche au Pliocène (le climat le permet-

tant encore) et pour lesquelles *Nuculana (L.) pella* constitue un très bon exemple ; mais, à la limite Plio-Pléistocène, cette espèce et d'autres quitteront la Manche devenue trop froide pour se cantonner alors définitivement à la Méditerranée.

Les Astartidae ainsi que les Nuculidae et les Nuculanidae représentent la plus grande partie de l'apport nordique. Les Astartidae ont pénétré dès le Pliocène I dans le golfe ligérien (Redonien inférieur de l'Anjou, où elles figurent en grand nombre). Dans le golfe de la Manche, on retrouve les mêmes espèces et les différences entre les deux golfes sont liées aux problèmes biogéographiques (LAURIAT-RAGE, 1982). Une variété de *Digitaria digitaria*, dite *lanceolata*, en raison de son ornementation particulière, constitue jusqu'à présent la seule forme endémique de la Manche connue au Pliocène. Si les Nuculidae et les Nuculanidae tiennent lieu de marqueurs stratigraphiques (permettant de distinguer un niveau inférieur et un niveau supérieur dans le Pliocène III, ou bien caractérisant le Pléistocène), elles donnent également des indications climatiques (successivement immigrants nordiques, puis arctiques). Il semble probable que le climat se soit progressivement dégradé, sans réchauffement intermédiaire, entre les glaciations de Biber (environ — 2,3 M. A. ?) et de Donau (environ — 1,8 M. A. ?).

Les onze gisements étudiés ici sont tous des éléments de thanatocénoses transportés à faible distance (biotopes et conditions de milieu différents — changement dans la couleur et l'épaisseur du test — fossiles entiers rares, espèces de grande et de petite taille, présence de stades jeunes et adultes). Ces accumulations ont été constituées au cours du temps, comme l'attestent les séries sédimentaires (colonnes stratigraphiques établies à partir des sondages et forages). D'après les Bivalves, il s'agit d'un milieu marin franc et, par comparaison avec les gisements redoniens, comme eux la faune a vécu sous une faible profondeur d'eau, allant jusqu'à 30 ou 40 m (étage infra-littoral). On compte moins d'espèces appartenant à l'épifaune qu'à l'endofaune et le substrat presque toujours meuble est de nature variée (sables plus ou moins grossiers et sables vaseux principalement).

CONCLUSIONS

L'intérêt de ce travail tient d'abord à la découverte de nombreux gisements pliocènes en Basse-Normandie, et ensuite au fait que les faunes proviennent de sondages et forages permettant, dans plusieurs cas, de mettre en évidence des subdivisions stratigraphiques, ce qui n'avait jamais pu être fait jusqu'alors dans le Redonien avec les Bivalves (le Redonien de la Groussinière en Bretagne, provenant également de sondages, n'a pas révélé l'existence de niveaux stratigraphiques différents). Parmi les nombreuses espèces inventoriées, la plupart ont pu être comparées à la riche faune pliocène, déjà connue, de Gourbesville. Les quelques nouvelles espèces pour la région ont toutes une signification intéressante au point de vue stratigraphique et paléobiogéographique (reliquat méridional s'opposant aux immigrants nordiques, puis arctiques). J'ai pu montrer qu'il existait un niveau stratigraphique plus récent que la formation de Gourbesville et correspondant sans doute au niveau du Bosq d'Aubigny, divisant ainsi le Pliocène III en deux parties. Connaissant par ailleurs la faune

Pléistocène de Saint-Nicolas-de-Pierrepont et de Saint-Sauveur-de-Pierrepont, j'ai pu identifier une faune de transition, définissant le passage Plio-Pléistocène et comblant ainsi une importante lacune stratigraphique. Il m'a été possible de caractériser deux niveaux « froids » dans le Pliocène récent, où s'inscrit le plus grand nombre de gisements et, j'ai pu retenir aussi un niveau dans le Pliocène II, intermédiaire, plus chaud, pauvre mais représenté dans les deux bassins (Carentan et Saint-Sauveur-le-Vicomte) et deux niveaux dans le Pliocène I, déjà connu à Fécamp en Haute-Normandie et beaucoup plus chaud que précédemment. L'interprétation de ces diverses formations, toutes recoupées (sauf celle de Gourbesville) dans un forage à la Gathe près Saint-Sauveur-le-Vicomte, a été élaborée à partir d'une large concertation, utilisant à la fois les données géologiques et paléontologiques.

Si l'on a dénombré jadis quelques gisements seulement dans le Pliocène de Basse-Normandie, l'addition d'une dizaine de gisements nouveaux constitue un exceptionnel matériel de comparaison avec les Bivalves redoniens du golfe ligérien. Grâce à la richesse de ce Pliocène, il m'a été possible de retrouver pour le golfe de la Manche, les trois niveaux stratigraphiques reconnus dans le bassin de la Loire.

Remerciements

J'exprime toute ma reconnaissance au Pr Cl. Pareyn qui m'a confié ce matériel d'étude et j'associe dans un même remerciement les chercheurs de l'Institut de Paléontologie, Y. Le Calvez, Ph. Brébion, É. Buge et J. Roman, qui m'ont apporté leur aide au cours de nos nombreux entretiens et sur le terrain. Je remercie également M. Rioult, qui m'a jadis communiqué des fossiles, et N. Poupinet, pour la préparation du matériel (Université de Caen, Département de Géologie), ainsi que P. Nuttall et M. Cooper (British Museum of natural History, Department of Palaeontology) et A. Morter, Directeur du Geological Survey à Londres, qui m'ont donné accès aux collections dont ils ont la charge.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Pour une bibliographie plus complète, se reporter à l'article de synthèse sur les Bivalves redoniens (Lauriat-Rage, 1981).

Bassompierre, P., Ph. Brébion, É. Buge, A. Lauriat, Y. Le Calvez et P. Martin, 1970. — Découverte d'un gisement fossilifère d'âge redonien dans la région de Fécamp (Seine-Maritime). *C. r. hebd. Séanc. Acad. Sci. Paris*, sér. D, 271 : 159-160.

Bassompierre, P., Ph. Brébion, É. Buge, A. Lauriat, Y. Le Calvez et P. Martin, 1972. — Le gisement redonien de Fécamp (Seine-Maritime). *Bull. Bur. Rech. géol. & minières*, 2e sér., I (1) : 29-48, 2 fig., 2 pl. phot., 5 tabl.

Blondeau, A., Ph. Brébion, É. Buge, J.-P. Chevalier *, R. Damotte, A. Lauriat-Rage, Y. Le Calvez, J. Roman, M. Ters, J.-M. Viaud, 1982. — Le Lutétien supérieur de Pierre-Aiguë près Saint-Aignan-Grand-Lieu (Loire-Atlantique). *Bull. Bur. Rech. géol. & minières*, 2e sér., 1 (1-2) : 115-142, 1 fig., 3 pl., 6 tabl.

Brébion, Ph., et J. Brunet, 1973. — La limite Pliocène-Pléistocène dans le domaine européen nord-occidental d'après les faunes de Gastéropodes ; corrélation continentale d'après la répartition des Equidés. *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, 3e sér., n° 129, Sci. Terre 21 : 1-13, 1 tabl.

BRÉBION, Ph., É. BUGE, G. FILY, A. LAURIAT, J.-P. MARGEREL et Cl. PAREYN, 1974. — Le Quaternaire ancien de Saint-Nicolas-de-Pierrepont et Saint-Sauveur-de-Pierrepont (Manche). *Bull. Soc. linn. Normandie,* **104**, 1973-1974 : 70-106, 5 fig., 2 pl., 4 tabl.

CAUMONT, É. DE, 1835. — Essais sur la distribution géographique des roches dans le département de la Manche. *Mém. Soc. linn. Normandie,* **5** : 239-281.

CAVELIER, C., et G. KUNTZ, 1974. — Découverte du Pliocène marin (Redonien) à Valmont (Seine-Maritime) dans le Pays de Caux. Conséquences sur l'âge post-redonien des Argiles rouges à silex de Haute-Normandie. *C. r. somm. Soc. géol. Fr.,* suppl. **XVI** (6) : 160-162.

CAVELIER, C., en collab. avec G. KUNTZ, J.-P. LAUTRIDOU, J. MANIVIT, C. PAREYN, L. RASPLUS et J. TOURENQ, 1980. — Miocène et Pliocène. *In* Synthèse Géologique du Bassin de Paris, Stratigraphie et Paléogéographie. *Mém. Bur. Rech. géol. & minières,* **1** (101) : 416-436, fig., tabl.

CHAVAN, A., et J. COATMEN, 1943. — Étude paléontologique et stratigraphique du havre de Blainville-sur-Mer (Manche). *Bull. Soc. géol. Fr.,* 5e sér., **13** (4-6) : 159-176, 5 fig.

CLET, M., 1984. — Le Pléistocène inférieur en Normandie, description d'un sondage : le Bosq d'Aubigny (Manche). *Revue Paléobiol.,* Mus. Hist. nat. Genève, vol. spéc. : 41-53, 2 fig., 2 tabl.

DESLONGCHAMPS, E., 1853. — Sur les coquilles fossiles du Bosq d'Aubigny. *Mém. Soc. linn. Normandie,* **9** : LII-LV.

DOLLFUS, G. F., 1906. — Faune malacologique du Miocène supérieur de Gourbesville (Manche), étage Redonien. *Ass. fr. Avanc. Sci.,* 34e sess. (Cherbourg 1905) : 358-371.

GLIBERT, M., 1958. — Tableau stratigraphique des Mollusques du Néogène de la Belgique. *Bull. Inst. roy. Sci. nat. Belgique,* **34** (32) : 1-20, tabl.

HEERING, J., 1950. — Pelecypoda (and Scaphopoda) of the Pliocene and Older Pleistocene deposits of the Nederlands. *Meded. geol. Sticht.,* sér. C, IV, 1 (9) : 225 p., 4 fig., 17 pl., 1 tabl.

LAURIAT-RAGE, A., 1981. — Les Bivalves du Redonien (Pliocène atlantique de France). Signification stratigraphique et paléobiogéographique. *Mém. Mus. natn. Hist. nat., Paris,* n. s., sér. C, Sci. Terre, **45** : 173 p., 8 fig., 18 pl., 1 tabl.

— 1982. — Les Astartidae (Bivalvia) du Redonien (Pliocène atlantique de France). Systématique, Biostratigraphie, Biogéographie. *Mém. Mus. natn. Hist. nat., Paris,* n. s., sér. C, Sci. Terre, **48** : 118 p., 30 fig., 16 pl., 4 tabl.

LAURIAT-RAGE, A., et M. MAKINSKY, 1983. — Mise en évidence du sous-genre *Monothyra* (Pholadidae, Bivalvia) dans le Miocène européen. Le problème des plaques accessoires chez les Pholades. *C. r. hebd. Séanc. Acad. Sci., Paris,* sér. II, **296** : 1745-1747, 1 fig.

LAURIAT-RAGE, A., et C. VERGNAUD GRAZZINI, 1977. — Signification climatique des Bivalves du Pliocène de l'Ouest de la France (Redonien) d'après leur étude biogéographique et isotopique. *C. r. hebd. Séanc. Acad. Sci., Paris,* sér. D, **284** : 2475-2478, 2 fig.

LAUTRIDOU, J.-P., 1985. — Le cycle périglaciaire pléistocène en Europe du Nord-Ouest et plus particulièrement en Normandie. Thèse Doctorat État, Caen. Centre Géomorphologie CNRS Caen, édit. ; 908 p., 191 fig., 60 tabl., 19 pl., 4 dépl.

PAREYN, Cl., 1980. — Mise en évidence d'une activité néotectonique pliocène et quaternaire dans le Cotentin, le bassin de Carentan et le Bessin (Manche et Calvados). *Bull. Soc. géol. Fr.,* 7e sér., **22** (4) : 695-701.

— 1984. — Les découvertes récentes sur les séries marines néogènes et pléistocènes ouvrent la voie à une conception nouvelle de l'évolution structurale et morphologique de la Basse-Normandie. Livre Jubilaire A. Journaux : 215-232, 1 fig., 1 tabl., Ch. Corlet éd.

PAREYN, Cl., P. BRÉBION, E. BUGE, R.-P. CARRIOL, A. LAURIAT-RAGE, Y. LE CALVEZ et J. ROMAN, 1984. — Le gisement pliocène de Cricqueville-en-Bessin (Calvados). Étude géologique et paléontologique. *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris,* 4e sér., **5**, C, (4), 1983 : 367-405, 2 pl., 4 tabl.

REGTEREN ALTENA, C. O. v., A. BLOKLANDER et L. P. POUDEROYEN, 1962. — De fossiele Schelpen van de Nederlandse stranden en zeegaten, tweede serie, 1 [1]. *Basteria*, **26** (1-2) : 5-16, 5 pl.

VASSEUR, G., 1881. — Recherches géologiques sur les terrains tertiaires de la France occidentale. Stratigraphie. 1e partie : Bretagne. *Bibltque Éc. ht. Étud. Paris Sect. Sci. nat.*, 23, 1. — art. (1) : 432 p., 29 fig., pl., tabl.

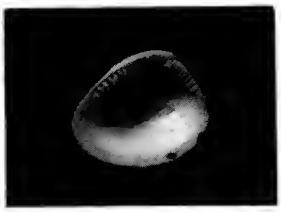
VIEILLARD, E., et G. DOLLFUS, 1875. — Étude géologique sur les terrains crétacés et tertiaires du Cotentin. *Bull. Soc. linn. Normandie*, 2e sér., **9** : 5-181, tabl., 1 dépl.

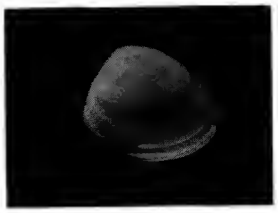
WOOD, S. V., 1850. — A Monograph of the Crag Mollusca. *Palaeont. Soc.*, London, Part 11, Bivalves : 342 p., 31 pl.

PLANCHE 1

1. — *Nucula (Nucula) nucleus nucleus* (L.) : VD ; gisement n° 17 : réserve de chasse de l'Ermitage 2 (prélèvement à 35 m) ; × 2 (R.06569 ; MNHN).
2. — *Nucula (Nucula) tenuis* (Mtg.) : VD ; gisement n° 4 : village des Gardinières (prélèvement 16-20 m) ; × 2 (R.06570 ; MNHN).
3. — *Nucula (Nucula) tenuis* (Mtg.) : VD ; gisement n° 4 : village des Gardinières (prélèvement 16-20 m) ; × 2 (R.06571 ; MNHN).
4. — *Nucula (Lamellinucula) sulcata* Bronn ; gisement n° 26 : la Bréchollerie (prélèvement 24-28 m) ; × 2 (R.06572 ; MNHN).
5. — *Nucula (Lamellinucula) sulcata* Bronn ; gisement n° 26 : la Bréchollerie (prélèvement 24-28 m) ; × 2 (R.06573 ; MNHN).
6. — *Nucula (Lamellinucula) sulcata* Bronn ; gisement n° 26 : la Bréchollerie (prélèvement 24-28 m) ; × 2 (R.06574 ; MNHN).
7. — *Nucula (Lamellinucula) sulcata* Bronn ; VG ; gisement n° 1 : ruisseau Bucaille (prélèvement 14-15 m) ; × 2 (R.06575 ; MNHN).
8. — *Nuculana (Nuculana) minuta* (Mtg.) : VD ; gisement n° 1 : ruisseau Bucaille (prélèvement 15-17 m) ; × 2 (R.06576 ; MNHN).
9. — *Nuculana (Lembulus) pella* (L.) : VD ; gisement n° 27 : hameau Cauvin 2 (prélèvement 5,1-6,2 m) ; × 2 (R.06577 ; MNHN).
10. — *Acila (Truncacila) cobboldiae* (Sow.) ; gisement n° 1 : ruisseau Bucaille (prélèvement 15-17 m) ; × 2 (R.06578 ; MNHN).
11. — *Acila (Truncacila) cobboldiae* (Sow.) ; gisement n° 1 : ruisseau Bucaille (prélèvement 15-17 m) ; × 2 (R.06579 ; MNHN).

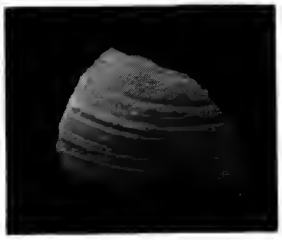
a = face externe ; b = face interne ; VD = valve droite ; VG = valve gauche ; MNHN = Muséum national d'Histoire naturelle, Paris.

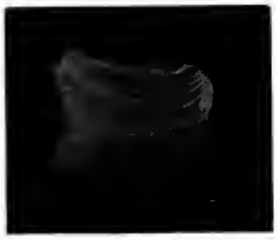

1b

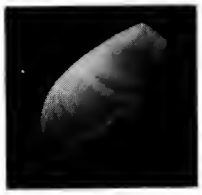

1a

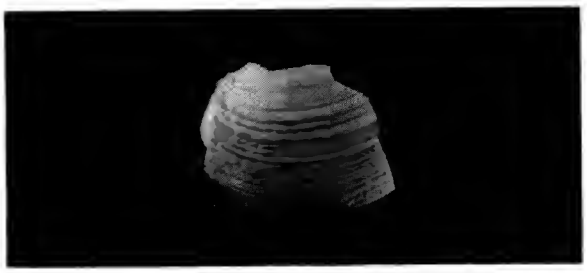
2b

3b

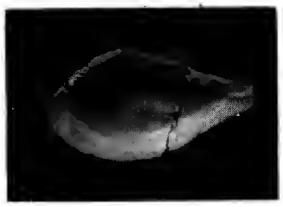

4a


5a


7a


6a

7b


8b

8a

10a

9b

9a

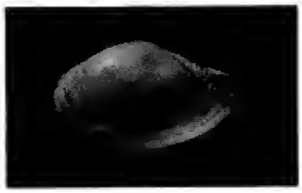
11a

PLANCHE I

PLANCHE II

1. — *Nucula (Lembulus) pella* (L.) : VG ; gisement n° 21 : est de Rougeville (prélèvement 26-30) ; × 2 (R.06580 ; MNHN).
2. — *Limopsis (Pectunculina) recisa* (Defr.) : VG ; gisement n° 17 : réserve de chasse de l'Ermitage 2 (prélèvement 47 m) ; × 2 (R.06581 ; MNHN).
3. — *Yoldia (Yoldia) oblongoides* (Wood) : VD ; gisement n° 1 : ruisseau Bucaille (prélèvement 15-17 m) ; × 2 (R.06582 ; MNHN).
3. — *Yoldia (Yoldia) oblongoides* (Wood) : VD ; gisement n° 1 : ruisseau Bucaille (prélèvement 15-17 m) ; × 2 (R.06583 ; MNHN).
5 — *Yoldia (Yoldia) oblongoides* (Wood) : VD ; gisement n° 1 : ruisseau Bucaille (prélèvement 15-17 m) ; × 2 (R.06584) ; MNHN).
6. — *Yoldia (Yoldia) oblongoides* (Wood) : VG ; gisement n° 1 : ruisseau Bucaille (prélèvement 15-17 m) ; × 2 (R.06585 ; MNHN).
7. — *Yoldia (Yoldia) oblongoides* (Wood) : VD ; gisement n° 1 : ruisseau Bucaille (prélèvement 15-17 m) ; × 2 (R.06586 ; MNHN).
8. — *Yoldia (Yoldia) oblongoides* (Wood) : VG ; gisement n° 1 : ruisseau Bucaille (prélèvement 15-17 m) ; × 2 (R.06587 ; MNHN).
9. — *Yoldia (Yoldia) semistriata* (Wood) : VG ; gisement n° 28 : la Brumannerie 1 (prélèvement 5-24 m) ; × 2 (R.06588 ; MNHN).
10. — *Striarca lactea* (L.) : VD ; gisement n° 28 : la Brumannerie 1 (prélèvement 5-24 m) ; × 1 (R.06589 ; MNHN).
11. — *Barbatia (Barbatia) barbata* (L.) : VG ; gisement n° 21 ; est de Rougeville (prélèvement 18-22 m) ; × 1 (R.06590 ; MNHN).

Signification des lettres voir planche 1.

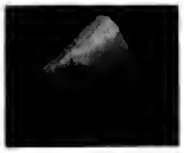

1a

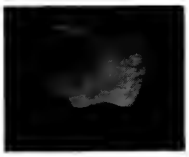
1b

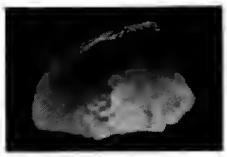
2b

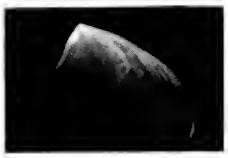
3a

3b


4a


4b


5b

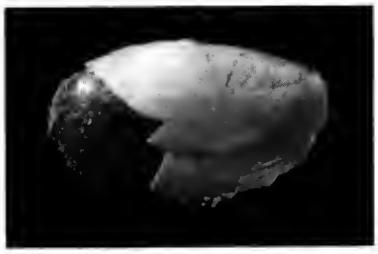

5a

6a

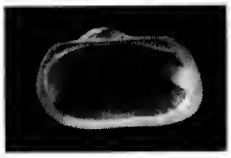
6b

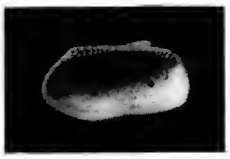
7b

8b


9a

10a


10b


11b

11a

PLANCHE II

PLANCHE III

1. — *Glycymeris (Glycymeris)* sp. : VG ; gisement n° 26 : la Brécholleric (prélèvement 19-24 m) ; × 1 (R.06591 ; MNHN).
2. — *Megacardita striatissima* (Caill.) (juv.) : VG ; gisement n° 17 : réserve de chasse de l'Ermitage 2 (prélèvement 33 m) ; × 2 (R.06592 : MNHN).
3. — *Anomia (Anomia) ephippium* L. s.l. : VG ; gisement n° 27 : hameau Cauvin 2 (prélèvement 9,2-10,7 m) ; × 2 (R.06593 ; MNHN).
4. — *Astarte (Digitariopsis) obliquata obliquata* Sow. (juv.) : VD ; gisement n° 17 : réserve de chasse de l'Ermitage 2 (prélèvement 37 m) ; × 2 (R.06594 ; MNHN).
5. — *Cardita (Cardita) calyculata* (L.) : VG ; gisement n° 21 : est de Rougeville (prélèvement 22-26 m) ; × 2 (R.06595 ; MNHN).
6. — *Glans (Centrocardita) aculeata ampla* (Chav. et Coat.) : VG ; gisement n° 22 : le Bosq (prélèvement 26-30 m) ; × 2 (R.06596 ; MNHN).
7. — *Astarte (Astarte) omalii omalii* Jonk. : VG ; gisement n° 21 : est de Rougeville (prélèvement 22-26 m) ; × 1 (R.06597 ; MNHN).

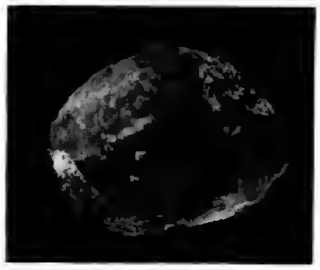
Signification des lettres voir planche I.

1a

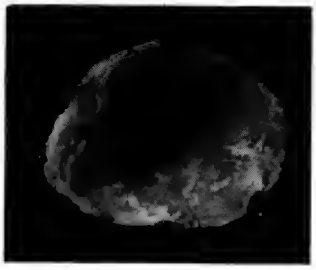
1b

2a

2b

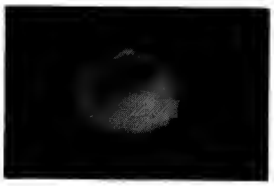


3a



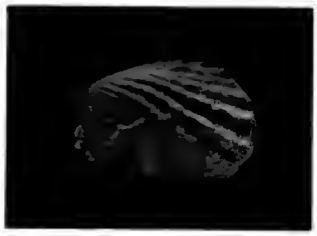
3b

4a



4b

5b



5a

7a

6b

6a

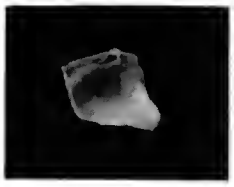
7b

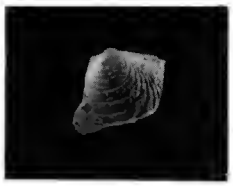
PLANCHE III

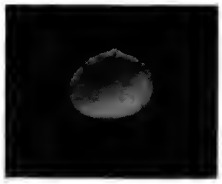
PLANCHE IV

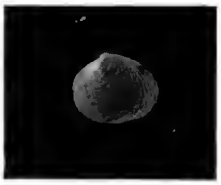
1. — *Astarte (Digitariopsis) excurrens excurrens* Wood : VG ; gisement n° 23 : l'Ange 1 (prélèvement 36-37 m) ; × 3 (R.06598 ; MNHN).
2. — *Digitaria digitaria* (L.) forma *lanceolata* : VG ; gisement n° 17 : réserve de chasse de l'Ermitage 2 (prélèvement 35 m) ; × 2 (R.06599 ; MNHN).
3. — *Digitaria digitaria* (L.) forma *lanceolata* : VG : gisement n° 26 : la Bréchollerie (prélèvement 24-28 m) ; × 2 (R.06600 ; MNHN).
4. — *Digitaria digitaria* (L.) forma *lanceolata* : VD ; gisement n° 25 : le Quesney (prélèvement 18-22,5 m) ; × 5 (R.06601 ; MNHN).
5. — *Spisula (Spisula) solida ovalis* (Sow.) : VD ; gisement n° 26 : la Bréchollerie (prélèvement 24-28 m) ; × 1 (R.06602 ; MNHN).
6. — *Acanthocardia (Acanthocardia) erinaceum* (Lmk) ; gisement n° 26 : la Bréchollerie (prélèvement 24-28 m) ; × 2 (R.06603 ; MNHN).
7. — *Spisula (Spisula) solida ovalis* (Sow.) : VG ; gisement n° 26 : la Bréchollerie (prélèvement 24-28 m) ; × 1 (R.06604 ; MNHN).
8. — *Spisula (Spisula) subtruncata triangula* (Ren.) : VG ; gisement n° 27 : Hameau Cauvin 2 (prélèvement 3,3-4,4 m) ; × 2 (R.06605 ; MNHN).
9. — *Corbula (Varicorbula) gibba gibba* (Ol.) : VD ; gisement n° 17 : réserve de chasse de l'Ermitage 2 (prélèvement 41 m) ; × 2 (R.06606 ; MNHN).

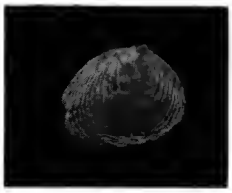
Photos D. SERRETTE. Signification des lettres voir planche I.

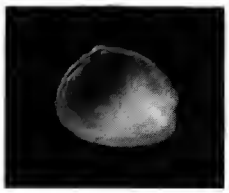

1b

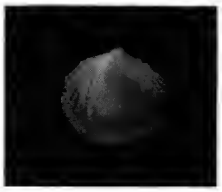

1a

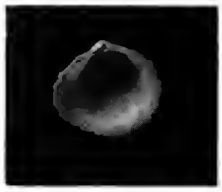

2b

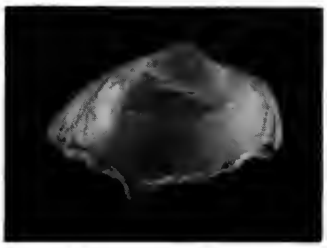

2a

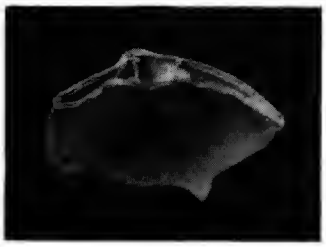

3a


3b

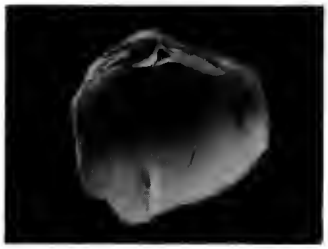

4a

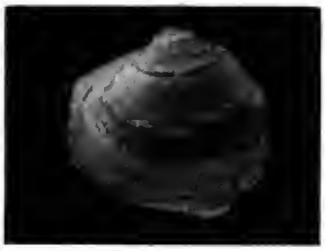

4b


5a


5b

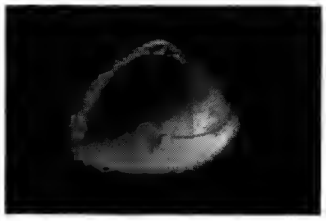
6a


7b


7a

9b

8a


8b

9a

PLANCHE IV

Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris, 4e sér., **8**, 1986,
section C, n° 1 : 53-75.

Microstructure des coquilles de Céphalopodes : la partie apicale de *Belopterina* (Coleoidea)

par Yannicke DAUPHIN

Résumé. — La partie apicale de *Belopterina* est composée de prismes aragonitiques très fins répartis en secteurs radiaires irréguliers dans la « ligne apicale », et devenant progressivement réguliers vers la périphérie. Les coupes antéro-postérieures montrent que ces secteurs sont formés de sphérolites régulièrement superposés. Une telle organisation est très proche de celle de *Beloptera*, et présente de nombreux points communs avec certains Aulacocéridés triasiques. Cependant, les ressemblances avec ces derniers résultent très probablement d'une convergence et non pas d'une filiation directe.

Abstract. — The apical part of *Belopterina* consists of radial sectors. Each sector is composed by thin aragonitic prisms diverging from the « apical line ». This apical line bends from the end of the alveolar cavity to the ventral face of the posterior rostral apex. Longitudinal (antero-posterior) sections shows that each radial sector consists of numerous regularly superposed spherolites. Such a structure is very similar to that of *Beloptera* and some triassic Aulacocerids ; however direct relationships between Aulacocerids and *Belopterina* are not known and similarities appear to be due to a convergence.

Y. DAUPHIN, *Laboratoire de paléontologie des vertébrés, Université Paris 6, 4 place Jussieu, 75230 Paris cedex 05, et UA 723 du CNRS.*

INTRODUCTION

Les *Belopterina*, comme les *Beloptera* dont elles ont été séparées en 1872 par MUNIER-CHALMAS, font partie de ces Céphalopodes Coléoïdes du Tertiaire dont la position systématique reste des plus incertaines. Peu d'auteurs en effet se sont attachés à décrire et étudier de façon détaillée cette forme (genre ou sous-genre ?) considérée comme mineure. Il en résulte que ses rapports avec les autres Beloptéridés ne sont pas encore clairement définis, et que sa situation dans les lignées phylétiques des Coléoïdes est fluctuante. En fait, cet état de choses concerne l'ensemble des Coléoïdes, ainsi que le faisait remarquer AVNIMELECH (1958) : « The classification of the tertiary belemnoids lacks general agreement and changes greatly from author to author. Even the subdivision into the suborders of Belemnoidea and Sepioidea is not well defined so that it almost looses its theoretical and practical significance ». Le fait que généralement seule la partie apicale de ces coquilles soit conservée et que leur morphologie externe soit assez simple n'est pas étranger à cette situation.

Dans ces conditions, l'analyse microstructurale des *Belopterina* rentre alors tout naturellement dans le cadre plus général de l'étude entreprise sur ces taxons du Tertiaire, afin de déterminer l'éventuelle valeur systématique et phylétique des caractères microstructuraux et minéralogiques.

Positions systématique et phylétique de *Belopterina*

1. Position systématique (tabl. I)

On doit à Munier-Chalmas (1872) d'avoir différencié le genre *Beloptera* « muni d'appendices aliformes », du genre *Belopterina* « privé de ces appendices et n'offrant plus que des crêtes latérales ». Mais à cette date, l'auteur ne précise pas s'il considère ces formes comme des Bélemnitidés ou des Sépiidés.

Tableau I. — Hypothèses sur la position systématique du genre *Belopterina* dans les traités de paléontologie les plus usuels.

Auteur	Position systématique
Zittel, 1887	Phragmophora-Belemnitidae
Fischer, 1887	Phragmophora-Belopteridae
Bernard, 1895	Phragmophora-Béloptéridés
Munier-Chalmas, 1903	Phragmophora-Belopteridae
Abel, 1916	Bélemnitidés-Béloptéridés
Naef, 1922	Sepioidea-Belopteridae
Piveteau, 1952	Belemnoidea-Neobelemnitidae
Avnimelech, 1958	Belemnoïdes-Belemnosisidae
Jeletzky, 1966	Sepiida-Belopteridae
Orlov, 1976	Sepioidea-Belopteridae

Décrit comme un sous-genre de *Beloptera* par Zittel (1887), *Belopterina* est inclus dans les Decapoda Phragmophora, c'est-à-dire les formes munies d'un test calcaire, d'une poche à encre, la coquille étant en partie cloisonnée et traversée par un siphon. Le type des Phragmophora est représenté par les bélemnites. Bien que seule la partie apicale des *Belopterina* soit connue, la présence d'une alvéole indique l'existence très probable d'un phragmocône (fig. 3). La même année (1887), Fischer reconnaît *Belopterina* comme un sous-genre de *Beloptera*, les Belopteridae étant, comme les Belosepiidae, des Phragmophora. Cette attribution est admise par Bernard (1895) et reprise par Munier-Chalmas (1903).

Pratiquement entièrement consacré aux Coléoïdes vivants et à leur mode de vie, le texte d'Abel (1916) comporte certains chapitres consacrés aux fossiles ; il en ressort que les Béloptéridés sont des bélemnites tertiaires. L'ouvrage de Naef (1922), qui lui aussi fait une part importante à la biologie des formes actuelles, est cependant beaucoup plus complet que le précédent en ce qui concerne la systématique et la phylogénie. Naef semble être le premier auteur à estimer que les Belopteridae, et donc le genre *Belopterina*, appartiennent non pas aux Bélemnitidés, mais aux Sepioidea.

Pour ROGER (*in* PIVETEAU, 1952), *Belopterina* fait partie des Neobelemnitidae, famille « utile à conserver pour désigner des formes qui indiquent le passage du type Bélemnite du Crétacé au Tertiaire et celles qui marquent une transition aux Sepioidea ». Sur la base de la forme du rostre et du phragmocône, AVNIMELECH (1958) propose une nouvelle classification des Bélemnoïdes tertiaires qu'il répartit en trois groupes ; *Belopterina* appartiendrait aux Belemnosisidae, caractérisés par un court rostre émoussé et un phragmocône plus au moins courbe. Cet auteur semble être le seul à séparer aussi nettement *Belopterina* et *Beloptera*, puisque si ce dernier est un Belopterinae, *Belopterina* est un Belemnosisidae. Quant à JELETZKY (1966), il signale simplement que les Belopteridae sont des Sepiida. Il en est de même pour ORLOV (1976).

Cette brève revue des principaux auteurs montre que, comme pour le genre *Beloptera* auquel elle est généralement étroitement associée, la position systématique de *Belopterina* oscille entre les Bélemnoïdes et les Sépioïdes. Il apparaît en outre une gêne certaine de la plupart des auteurs qui hésite à attribuer aux Bélemnoïdes une forme indéniablement tertiaire.

2. Position phylétique

Appartenant à une famille « intermédiaire » entre les Belemnoidea et les Sepioidea, *Belopterina* occupe à l'intérieur même de cette famille une position de transition entre les genres de Belopteridae. Dans l'ensemble, les auteurs (NAEF, 1922 ; ROGER *in* PIVETEAU, 1952 ; TEICHERT, 1967 ; ORLOV, 1976) s'accordent pour situer les Belopteridae au cœur des relations Belemnoseidae — Sepiidae — Spirulidae — Spirulirostridae.

Sur des critères partiellement stratigraphiques, ABEL (1916) présente *Belopterina* comme une forme plus primitive que *Beloptera*, dans une série à spécialisation croissante : *Vasseuria* — *Belopterina* — *Beloptera*.

Selon ROGER (*in* PIVETEAU, 1952), *Belopterina* « offre à la fois des rapports avec *Belemnosis* et *Beloptera* » par sa morphologie, mais entre *Belopterina* et *Beloptera* vient s'insérer le genre *Belopterella* (fig. 1). ORLOV (1976) a décelé deux tendances chez les Belopteridae ; le genre *Belopterella* par diminution de taille donnerait *Belopterina* et *Belopteridium*, et par augmentation des excroissances latérales : *Beloptera* et *Belosepiella*. *Belopterina* et *Beloptera* ne sont donc pas directement reliés dans cette hypothèse (fig. 2) et la succession proposée diffère de celle de ROGER.

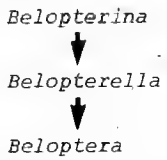


FIG. 1. — Position phylétique de *Belopterina* d'après ROGER (*in* PIVETEAU, 1952).

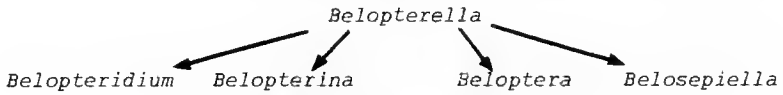


FIG. 2. — Position phylétique de *Belopterina* d'après ORLOV (1976).

Étant donné la diversité des propositions systématiques et phylétiques, et le nombre de taxons impliqués, il est peu probable que l'analyse microstructurale de ce seul genre, même si on le compare à *Beloptera* (Dauphin, 1985), puisse résoudre à elle seule les questions posées. L'étude de l'ensemble des genres concernés sera nécessaire.

Matériel et méthodes d'étude

1. Matériel

Les *Belopterina* étudiées proviennent des collections de l'Institut de paléontologie du Muséum national d'Histoire naturelle de Paris. Deux spécimens de *B. boriesi* portaient pour toute indication Fontas ou Fontes, sans autre précision. La seule commune française pouvant correspondre est située près de Béziers (Hérault) : il s'agit de Fontes. Mais il pourrait également s'agir d'un hameau ou d'un lieu-dit. Un troisième spécimen, légèrement plus grand et provenant de Chalons-sur-Vesle (Marne, Éocène), était répertorié sous le numéro B 68824 : *B. levesquei* Ferr. d'Orb.

2. Méthodes d'étude

Compte tenu des faibles dimensions des représentants de ce genre, les divers spécimens ont été sectionnés à la scie à fil. Un fil de diamètre de 0,1-0,2 mm, chargé d'émeri, est entraîné par deux disques rotatifs. La perte de matériel provoquée par le sciage est ainsi nettement inférieure à celles des méthodes plus habituelles de scies à lame.

L'un des deux spécimens de Fontas (?), *B. boriesi*, a été sectionné dans le sens longitudinal, selon un plan dorso-ventral qui n'est pas parfaitement médian. Huit coupes transversales ont été effectuées sur le second individu du même gisement, grâce au même procédé. *B. levesquei* du Bassin de Paris (B 68824), beaucoup plus friable, n'a pu être coupé transversalement (8 coupes) qu'après avoir été inclus dans une résine fluide (Scandiplast de Scandia) ; la couleur verte de cette résine transparente présentait en outre l'avantage de permettre une localisation précise de l'échantillon dans le bloc de résine, de telle sorte qu'il était possible de bien repérer les emplacements des coupes.

Afin d'éliminer l'émeri ayant pu pénétrer dans les structures lors du sciage, les fragments ont été soumis à un bref passage aux ultra-sons. Les surfaces ont été ensuite légèrement attaquées (HCl, 5 %, 25 s ou acide formique, 25 %, 20 s). Après un long temps de séchage dû à la porosité des structures, les coupes ont été métallisées à l'or par sputtering et examinées au microscope électronique à balayage (JSM S1 jeol du laboratoire de paléontologie des vertébrés, Université Paris 6 ; SEM 505 Philips du laboratoire de pétrologie sédimentaire et paléontologie, Université Paris 11 — Orsay).

Morphologie externe

Les coquilles de *Belopterina* sont moins bien conservées, et moins bien connues que ne le laissent supposer les reconstitutions proposées par Naef (1922) (fig. 3). Seul, le rostre, avec dans les cas les plus favorables une partie de l'alvéole, a jusqu'ici été récolté. Ces formes sont petites ; pour *B. boriesi* la longueur maximale était de 1,3 cm, et le diamètre dorso-ventral (le plus grand) de 0,5 cm.

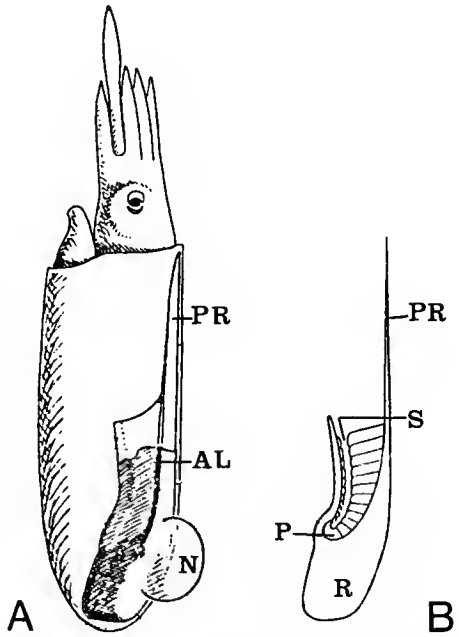


Fig. 3. — Morphologie de *Belopterina* : a, reconstitution en vue latérale ; b, coupe médiane de la coquille. D'après Naef (1922) × 2.
PR : proostracum ; AL : arête latérale ; N : nageoire ; S : siphon ; R : rostre ; P : protoconque.

Le rostre est comprimé latéralement de sorte que le diamètre dorso-ventral est le plus grand (pl. I, b). Sur la face ventrale, au niveau de l'alvéole surtout, le rostre possède un ou deux bourrelets contigus séparés par une fente très étroite (pl. I, b), le tout disparaissant vers l'apex. La majorité des spécimens est brisée à ce niveau et les bourrelets sont absents (pl. I, d). La zone post-alvéolaire est légèrement courbée ventralement, élargie vers l'arrière et montre de fines stries longitudinales régulières. L'apex est émoussé (pl. I, c, e) et séparé du reste du rostre par une constriction, l'ensemble rappelant la disposition rostre/épirostre des bélemnites du Mésozoïque. Les stries longitudinales sont plus nettes sur cet apex émoussé que dans les zones plus antérieures.

Microstructures

Peu étudiées pour leur morphologie externe, les *Belopterina* ne semblent pas avoir été davantage analysées pour leur composition minéralogique ou leur microstructure. La surface externe des échantillons montre une alternance plutôt régulière de sillons et rides longitudinaux (pl. I, a, e) ; par comparaison avec les *Beloptera* (Dauphin, 1985), cette ornementation, d'autant plus visible que le spécimen est érodé, doit correspondre à une structure en feuillets ou secteurs radiaires longitudinaux qui divergent probablement à partir d'une zone située à l'extrémité de l'alvéole. Deux niveaux de structure sont à décrire : la disposition des feuillets dans le rostre et leur structure interne.

1. Sections longitudinales

a — *La structure du rostre*

Une section dorso-ventrale (pl. I, a) confirme la présence de tels feuillets longitudinaux divergeant à partir d'une zone dont la position reste à préciser. Variable selon l'emplacement du plan de coupe par rapport au centre de divergence, l'épaisseur des feuillets est de 60 μm en moyenne. La surface latérale (verticale) de l'un de ces secteurs radiaires montre des vagues de renflements dont la surface est hérissée d'extrémités de fibres (pl. I, g). Vers la face ventrale, dans la zone du bourrelet ventral, les vagues successives de renflements plus ou moins accentués sont parallèles à la surface de la cavité alvéolaire. Dans la zone médiane du rostre, les coupes ventro-dorsales légèrement obliques, recoupant plusieurs feuillets ou secteurs radiaires contigus, font apparaître leur disposition divergente à partir de la surface de l'alvéole (pl. I, a). Les mêmes coupes montrent également que, si la position exacte de l'origine des vagues de renflements ne peut être située avec précision, l'équivalent de la ligne apicale des bélemnites est très nettement décentrée vers la face ventrale du rostre.

b — *La structure des feuillets ou secteurs radiaires*

Sur les coupes antéro-postérieures tangentielles, c'est-à-dire parallèles à la surface externe du rostre, la structure interne des feuillets verticaux devient visible (fig. 4). A faible grandissement (pl. I, f), les secteurs longitudinaux semblent composés de deux bandes verticales (antéro-postérieures) de fibres, bandes séparées par une mince lacune à peu près médiane. À des grandissements plus importants, chaque bande de fibres apparaît en réalité formée par une succession de sphérolites (pl. II, a, b, c). Ces sphérolites, plus ou moins parfaitement circulaires selon l'orientation exacte de la coupe, présentent selon l'état de conservation des axes ponctuels ou au contraire très élargis en une cavité autour de laquelle de fines fibres divergent. C'est l'alignement régulier de ces sphérolites qui donne la disposition en feuillets verticaux radiaires et, sur la surface externe du spécimen, les rides et sillons longitudinaux. De plus, chaque sphérolite correspond à l'un des renflements observés sur les faces latérales verticales des feuillets radiaires (pl. I, g). Les sphérolites sont présents dans la zone post-alvéolaire du rostre, mais aussi dans la partie dorsale de la zone alvéolaire (pl. II,

b, c). Les coupes tangentielles parallèles à la face latérale verticale des feuillets permettent de compléter le schéma structural du rostre. On y reconnaît en effet des bandes plus ou moins parallèles, se divisant assez rarement et divergeant à partir d'un point proche de la protoconque. Ces bandes sont composées de fibres divergentes, régulièrement organisées en bandes de croissance convexes vers la surface externe du rostre (pl. II, e, f).

L'examen des coupes longitudinales diversement orientées confirme que le rostre est constitué de feuillets ou secteurs radiaires, divergeant à partir d'un point situé à proximité du sommet de l'alvéole. Ces secteurs radiaires sont composés de sphérolites régulièrement alignés antéro-postérieurement ; mais ces sphérolites ne sont pas équidimensionnels : dans un feuillet donné, l'axe d'un sphérolite va du point de divergence (« ligne apicale » dans la terminologie utilisée pour les bélemnites) jusqu'à la périphérie du rostre, comme des cylindres curvilignes, ce qui correspond aux vagues de renflements des faces latérales (fig. 4).

2. Sections transversales

a — *La structure du rostre*

Le second échantillon de *B. boriesi*, coupé transversalement, était moins complet dans la zone alvéolaire que celui coupé longitudinalement. Comme le précédent, il est possible d'observer sur les sections la disposition des divers secteurs et du centre de divergence, mais la microstructure n'est pas assez bien conservée pour en analyser l'organisation interne. Celle-ci sera décrite à partir de *B. levesquei*.

De l'apex jusqu'à l'extrémité postérieure de l'alvéole, la face dorsale est plus développée que la face ventrale (pl. III ; pl. V, a). On reconnaît un « cœur » ou « centre » composé de très nombreux replis assez semblables, mais plus accentués que ceux qui sont signalés chez *Beloptera* (Dauphin, 1985), donnant une disposition plicimorphe (pl. III ; pl. V, c). Dans la série de coupes transversales, ce « cœur » ou « centre » de divergence est toujours très nettement excentré vers la face ventrale, ce qui correspond aux observations effectuées sur les coupes longitudinales de *B. boriesi*. Vient ensuite une zone largement développée dans les quadrants latéraux et dorsal, et très étroite dans la face ventrale : les secteurs radiaires divergeant à partir du centre sont beaucoup plus réguliers, mais présentent encore un aspect dissymétrique (pl. III ; pl. IV, b ; pl. V, a) ; l'une des bandes d'un secteur devient assez rapidement radiaire, tandis que la seconde conserve les replis du centre. Toutefois, ces derniers s'allongent et sont dirigés presque sans exception vers le centre du rostre. L'aspect de cette zone ressemble assez à un ensemble de feuilles de chêne irrégulières dont tous les lobes seraient tournés dans la même direction (pl. IV, b ; pl. V, b). Cette disposition persiste dans les deux quadrants latéraux presque jusqu'à la surface externe du rostre ; dans la dernière phase de croissance, cependant, les replis sont moins abondants tandis que les secteurs se subdivisent une dernière fois. Sur les faces ventrale et dorsale, la disposition régulière des secteurs est atteinte beaucoup plus rapidement que dans les quadrants latéraux, avec persistance de quelques lobes ou subdivisions (pl. IV, a, c).

Sur cet échantillon, l'alvéole n'a pas été coupée au niveau de la première loge du phragmocône, et la coupe la plus apicale passant par la cavité alvéolaire montre que celle-ci, décentrée, est située dans l'alignement des « cœurs » des coupes plus postérieures (pl. V, a). Il convient cependant de noter que selon la reconstitution de Naef (fig. 3), les

premières loges du phragmocône sont très recourbées vers la face dorsale. Si globalement la zone de divergence des secteurs est tout à fait ventrale sur une coupe longitudinale médiane (pl. I, a), par rapport à la protoconque il est probable que la zone d'apparition du rostre au cours du développement est située sur la face dorsale du phragmocône. Selon JELETZKY (1966), ce fait serait l'une des caractéristiques permettant de différencier les Bélemnitidés et les Sépiidés.

Dans la zone alvéolaire, la face dorsale est dans sa plus grande partie composée de secteurs radiaires plutôt réguliers, peu divisés (pl. V, a). Les secteurs représentent environ 90 % de l'épaisseur du rostre dans cette coupe (pl. IV, f ; pl. VI, c). La zone interne, longeant la cavité alvéolaire, est dépourvue de secteurs (pl. IV, d). Vers les quadrants latéraux, les secteurs sont nettement moins développés et n'apparaissent que dans la périphérie (pl. IV, d). Ils disparaissent pratiquement complètement au profit de lignes de croissance concentriques plus ou moins distinctes dans toute la partie ventrale.

b — *La structure des feuillets ou secteurs radiaires*

Sur les coupes transversales, chaque feuillet radiaire, qu'il soit situé dans les replis du cœur ou dans les zones plus externes, est composé de fibres divergentes à partir d'un axe généralement médian. Les V successifs ont leurs pointes dirigées vers la « ligne apicale » ou « centre de divergence » du rostre ; secteurs et fibres divergent donc dans le même sens.

Toutefois, dans la zone plicimorphe ou dans son voisinage immédiat, les fibres ne divergent pas régulièrement de part et d'autre d'un axe médian continu. Localement, l'axe d'un feuillet ou repli est composé par une succession de centres alignés, centres autour desquels les fibres rayonnent très imparfaitement (pl. IV, a, b ; fig. 4). Dans la partie post-alvéolaire, les subdivisions et replis des secteurs disparaissent dans la périphérie du rostre. La répartition des fibres en secteurs y est moins marquée, et généralement l'axe du secteur est décentré. Dans la zone interne de la face dorsale, et sur la partie des quadrants latéraux et ventral qui est conservée, les fibres sont disposées régulièrement en montrant parfois des stries de croissance espacées de 10 μm en moyenne (pl. VI, a). La morphologie des prismes ou fibres est identique à celle des autres zones du rostre.

Dans les coupes transversales plus antérieures, la partie ventrale n'est plus conservée et la cavité alvéolaire s'agrandit sensiblement. Là aussi, les secteurs sont présents sur environ les 90 % externes de la face dorsale du rostre, tandis que la partie interne est formée de prismes disposés en couches concentriques. L'évolution vers les faces latérales, incomplètes, semble identique à celles des coupes plus apicales.

La coupe la plus antérieure (pl. VI, c) montre que la face dorsale est devenue beaucoup plus mince (800 μm environ) et beaucoup plus aplatie. Trois zones microstructurales peuvent y être observées : une zone externe composée de secteurs radiaires ; une zone médiane, un peu moins épaisse, constituée de prismes radiaires non répartis en secteurs, avec des stries de croissance (pl. VI, d). Cette coupe transversale, bien que partielle, montre cependant que la zone des secteurs est encore plus réduite que dans les précédentes, et que cette régression s'effectue au profit de la zone médiane. La dernière partie (pl. VI, e), longeant l'alvéole, est très irrégulière puisqu'elle comporte des fibres radiaires avec une zonation de croissance, et des secteurs imparfaits similaires à ceux du bouclier dorsal de *Sepia*, ces deux types de structures étant imbriqués l'un dans l'autre.

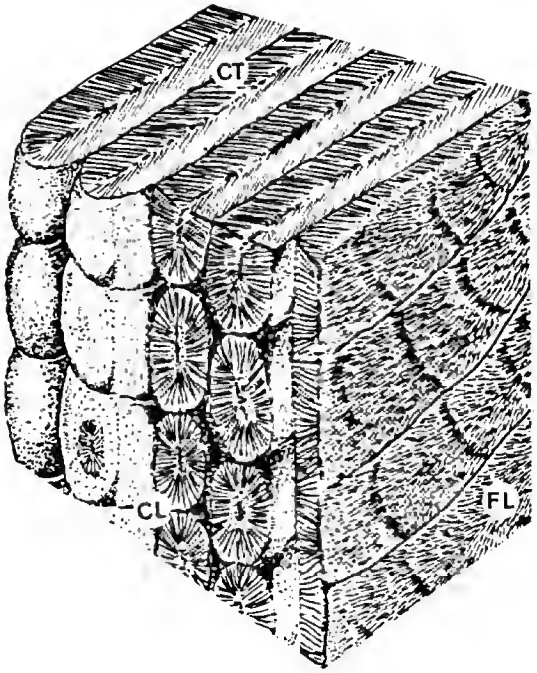


Fig. 4. — Bloc-diagramme schématique de la structure de la zone externe post-alvéolaire du rostre.
CT : coupe transversale ; CL : coupe longitudinale tangentielle ; FL : face latérale antéro-postérieure. Sans échelle. La flèche indique la « ligne apicale ».

Conclusions

La structure du rostre de *Belopterina* est complexe, notamment dans sa zone post-alvéolaire dont la figure 4 représente un essai de synthèse. Les sphérolites fibreux qui constituent la structure fondamentale sont alignés dans les plans antéro-postérieurs et donnent cet aspect de bandes verticales, mais ces sphérolites ne sont pas isodiamétriques ; ce sont en réalité plutôt des cylindres non rectilignes, mais divergents à partir d'une zone située à proximité de la protoconque. Toutes ces courbures et divergences, associées à des subdivisions, aboutissent aux nombreux replis visibles sur les coupes transversales. La zone alvéolaire semble plus simple, puisque, au moins dans sa face dorsale, les secteurs régressent au profit d'une structure fibreuse avec une zonation de croissance.

Compte tenu des hypothèses concernant la position de ce genre *Belopterina* chez les Coléoïdes du Tertiaire, il est intéressant de comparer cette structure rostrale à celle de *Beloptera*, puis de *Belosepia*.

1. **Comparaison avec** *Beloptera*

a — *La structure du rostre*

Les deux genres possèdent un rostre qui sur sa face externe montre des feuillets longitudinaux parallèles (DAUPHIN, 1985, fig. 3) traduisant l'existence de feuillets divergents à partir d'une « ligne apicale ».

En coupe transversale, les zones post-alvéolaires sont très similaires, si l'on excepte la présence des ailes latérales chez *Beloptera*. La « ligne apicale » est représentée par une zone plicimorphe assez large, très excentrée dans les deux genres. Cette zone plicimorphe « axiale » est suivie par une zone nettement plus développée sur la face dorsale que sur la face ventrale, et composée de secteurs divergents radiaires pourvus de nombreux replis et d'abondantes lacunes (DAUPHIN, 1985, fig. 5 g, 6 f, 7, 8). Vient enfin une zone plus régulière et compacte, également formée de secteurs jointifs et dépourvus des replis de la phase précédente. Dans les deux genres, les coupes transversales successives révèlent que la ligne apicale n'est pas rectiligne, mais au contraire très nettement incurvée.

Certaines différences entre les coupes transversales des deux genres sont sensibles. Chez *Beloptera*, la zone plicimorphe est plus excentrée que chez *Belopterina*, puisqu'elle n'est pas totalement entourée par la zone à secteurs radiaires (DAUPHIN, 1985, fig. 7). En outre, alors que les replis des secteurs de la seconde zone sont presque tous dirigés vers la zone plicimorphe (c'est-à-dire la zone interne) chez *Belopterina*, ces replis sont dans la zone équivalente de *Beloptera* pratiquement tous dirigés vers la surface externe du rostre (DAUPHIN, 1985, fig. 6 c, e ; fig. 8).

b — *La structure des feuillets*

Sur les coupes longitudinales, les feuillets apparaissent dans les deux genres composés de sphérolites fibreux régulièrement alignés dans la direction antéro-postérieure. Sur les faces latérales de ces feuillets radiaires, les boules correspondant à ces sphérolites sont légèrement plus accentuées chez *Beloptera* (DAUPHIN, 1985, fig. 4 a).

Les secteurs radiaires des coupes transversales possèdent deux zones d'épaisseurs inégales, dans les deux genres. À cause de la divergence à partir de la protoconque ou tout du moins d'un point voisin, les secteurs sont recoupés en oblique par les coupes transversales avec de nombreuses terminaisons en V. *Belopterina* et *Beloptera* comportent tous deux une zone externe compacte.

2. **Comparaison avec** *Belosepia*

Les sections longitudinales (antéro-postérieures) du rostre de *Belosepia* montrent nettement la disposition classique en cônes emboîtés, cônes qui correspondent à des fibres ou prismes très fins répartis en stries de croissance régulières (DAUPHIN, 1984, fig. 2 D, E). Dans l'épine médiane, on ne reconnaît sur ces coupes ni secteurs ni sphérolites. Il n'en est pas de même en ce qui concerne les coupes transversales de la partie post-alvéolaire. Il apparaît, sur ces séries de coupes, que si la zone axiale est également dépourvue de secteurs

et montre une disposition très similaire à celle des bélemnites (DAUPHIN, 1984, fig. 3), la partie externe de l'épine centrale est composée de secteurs radiaires divergents bien développés. Quant à la crête postérieure et au processus ventral, ces deux éléments morphologiques sont absents chez *Belopterina* et *Beloptera*.

L'organisation microstructurale des *Belopterina* est plus proche de celle de *Beloptera* que de celle de *Belosepia*. Cependant, compte tenu des genres impliqués dans la phylogénie des Belopteridae, et de l'absence totale de données sur la structure de leur test, les conséquences de cette étude des *Belopterina* sont encore très limitées. Il en est de même en ce qui concerne la position des Belopteridae à l'intérieur des Coléoïdes, et la transition Bélemnoïdes/Sépioïdes. Par contre, la distinction établie par MUNIER-CHALMAS (1872) entre *Belopterina* et *Beloptera* semble justifiée par les microstructures qui, si elles présentent de nombreux points communs, montrent toutefois une différence importante dans l'orientation des replis des secteurs dans les coupes transversales.

Si la similitude de structure et d'organisation des rostres de *Belopterina* et *Beloptera*, et même *Belosepia*, semble normale compte tenu de leurs autres ressemblances et des hypothèses sur leurs liens de parenté, certains points communs avec les Aulacocéridés triasiques sont à priori plus surprenants. Outre la présence des secteurs radiaires dans les deux cas, la division de ces secteurs en sphérolites alignés antéro-postérieurement et l'aspect des surfaces latérales des feuillets sont similaires. Toutefois, aucune forme permettant de supposer l'existence d'un lien de parenté direct entre les Aulacocéridés triasiques et les taxons tertiaires n'étant connue, il semble raisonnable de considérer ces faits comme le résultat de convergences.

Remerciements

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à MM. J. C. FISCHER et P. BRÉBION, de l'Institut de Paléontologie du Muséum national d'Histoire naturelle de Paris, qui ont bien voulu me confier plusieurs spécimens de *Belopterina* pour cette étude, et qui m'ont autorisée à préparer ces échantillons pour les observations au microscope électronique à balayage.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABEL, O., 1916. — Paläobiologie der Cephalopoden aus den Gruppe der Dibranchiaten. Fischer ed., Jena : 281 p.

AVNIMELECH, M., 1958. — A new belemnoid genus from the Paleocene from Israel. *Bull. Res. Coun. Israel*, sect. G, **1** : 61-65.

BERNARD, F., 1895. — Éléments de paléontologie. Baillière & fils éd., Paris : 1168 p.

DAUPHIN, Y., 1984. — Microstructures des Céphalopodes. IV — Le « rostre » de *Belosepia* (Dibranchiata). *Paläont Z.*, **58** (1/2) : 99-117.

— 1985. — Microstructural studies on cephalopod shells. V — The apical part of *Beloptera* (Dibranchiata). *Neues Jb. Geol. Paläont.*, **170** (3) : 323-341.

DAUPHIN, Y., & J. P. CUIF, 1980. — Implications systématiques de l'analyse microstructurale des rostres de trois genres d'Aulacocéridés triasiques (Cephalopoda — Coleoidea). *Palaeontographica*, A, **169** : 28-50.

FISCHER, P., 1887. — Manuel de conchyologie. Librairie S. Savy, Paris, : 1369 p.

JELETZKY, J. A., 1966. — Comparative morphology, phylogeny and classification of fossil Coleoidea. *Paleont. Contr. Univ. Kans.*, Mollusca 7 : 1-162.

MUNIER-CHALMAS, M., 1872. — Sur les nouveaux genres *Bayanoteuthis* et *Belopterina*. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 2e sér., **29** : 530-531.

— 1903. — Notice sur les travaux scientifiques. Le Bigot Fr., impr. éd. Lille : 119 p.

NAEF, A., 1922. — Die fossilen Tintenfische : eine paläozoologische Monographie. Fischer ed., Jena : 322 p.

ORLOV, Yu. D., 1976. — Fundamentals of paleontology. Vol. VI : Mollusca, Cephalopoda II. Israel Program for Scientific translations, Keter publ. house Jerusalem ltd : 474 p.

PIVETEAU, J., 1952. — Traité de paléontologie, t. II. Masson & Cie éd., Paris : 790 p.

TEICHERT, C., 1967. — Major features of Cephalopod evolution. *In* Essays in paleontology and stratigraphy, R. C. MOORE Comm. Vol., Univ. Kansas spec. pap., **2** : 162-210.

ZITTEL, K. A., 1887. — Traité de paléontologie, t. II. Doin éd., Paris : 897 p.

PLANCHE I

a : Coupe longitudinale dorso-ventrale montrant les replis sur la face externe de l'apex, replis coupés en oblique sur la face ventrale. × 20.

b : Vue transversale au niveau de l'alvéole ; la face ventrale est munie de deux bourrelets bien développés séparés par un étroit sillon. × 4.

c, d, e : Vues externes montrant l'apex émoussé, sillonné et isolé par une constriction (fig. c, e) et la paroi de l'alvéole cassée sur la face ventrale (fig. d). × 4.

f : Cassure longitudinale dans la zone plicimorphe (*cf.* pl. III), montrant la disposition des feuillets radiaires formés de boules irrégulières alignées. × 80.

g : Détail de la surface latérale d'un feuillet montrant les extrémités fermées en boules (*cf.* fig. 5). × 215.

a-e : *Belopterina boriesi* ; f-g : *B. levesquei*.
A : alvéole ; FD : face dorsale.

PLANCHE I

PLANCHE II

Microstructure de *B. levesquei*

a : Coupe longitudinale tangentielle (*cf.* fig. 5) montrant les feuillets verticaux radiaires composés de sphérolites superposés. La double flèche indique l'axe antéro-postérieur. × 360.
b : Coupe presque longitudinale plus profonde que la précédente montrant les axes et les sphérolites alignés. La flèche indique la face dorsale. × 240.
c : Détail de la même structure sur une coupe similaire. × 835.
d : Face longitudinale radiaire (*cf.* fig. 5) d'un feuillet montrant les secteurs et les stries de croissance convexes vers la face ventrale (indiquée par la flèche). × 235.
e : Détail de la précédente. × 820.
f : Coupe oblique montrant un aspect similaire avec quelques subdivisions des secteurs. × 240.

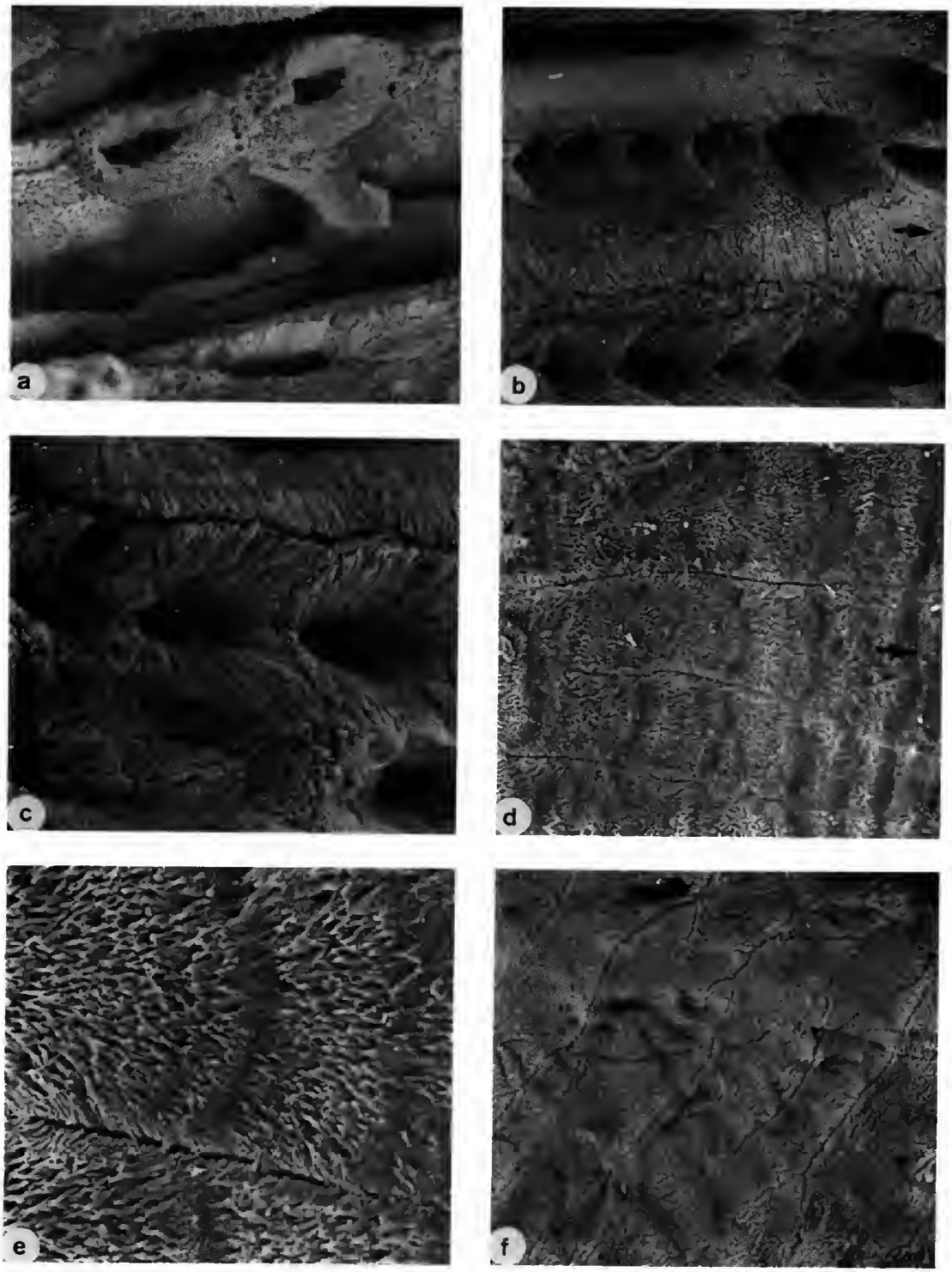


PLANCHE II

PLANCHE III

B. levesquei

Coupe transversale de la zone post-alvéolaire du rostre montrant un « cœur », correspondant à la ligne apicale des Bélemnites, nettement décentré vers la face ventrale (FV), puis une zone plicimorphe mieux développée dans les quadrants latéraux, enfin la disposition en secteurs radiaires plus réguliers dans la partie la plus externe. × 22.

FD : face dorsale.

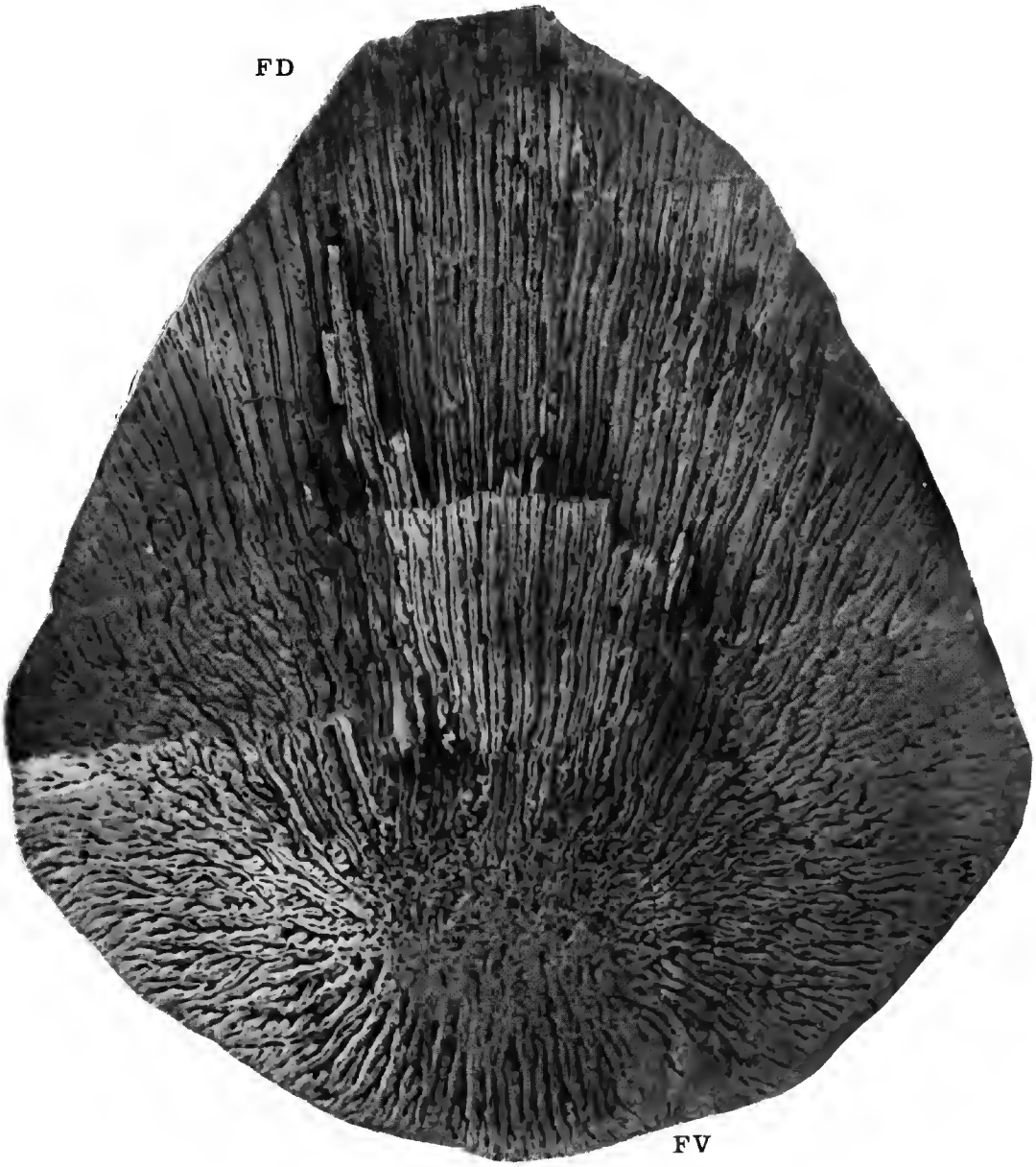


PLANCHE III

PLANCHE IV

Microstructure de *B. levesquei*

a : Coupe transversale de la zone post-avéolaire montrant des secteurs radiaires périphériques réguliers composés de deux bandes de prismes très fins. × 240.
b : Coupe transversale de la zone post-alvéolaire dans sa partie plicimorphe : les secteurs comportent une bande prismatique régulière et étroite, la seconde bande formant de nombreux replis dirigés vers le centre ou « ligne apicale » (flèche). × 235.
c : Secteurs radiaires d'une coupe transversale dans la zone dorsale alvéolaire. × 215.
d : Même coupe que la précédente, même rayon, mais sur le bord de l'alvéole dépourvu de secteurs radiaires. × 290.
e : Coupe transversale plus antérieure que la fig. c ; face latérale presque totalement dépourvue de secteurs. × 840.
f : Même coupe que la précédente : premiers secteurs dans la face dorsale. × 240.

La flèche indique la position de l'alvéole : fig. c à f.

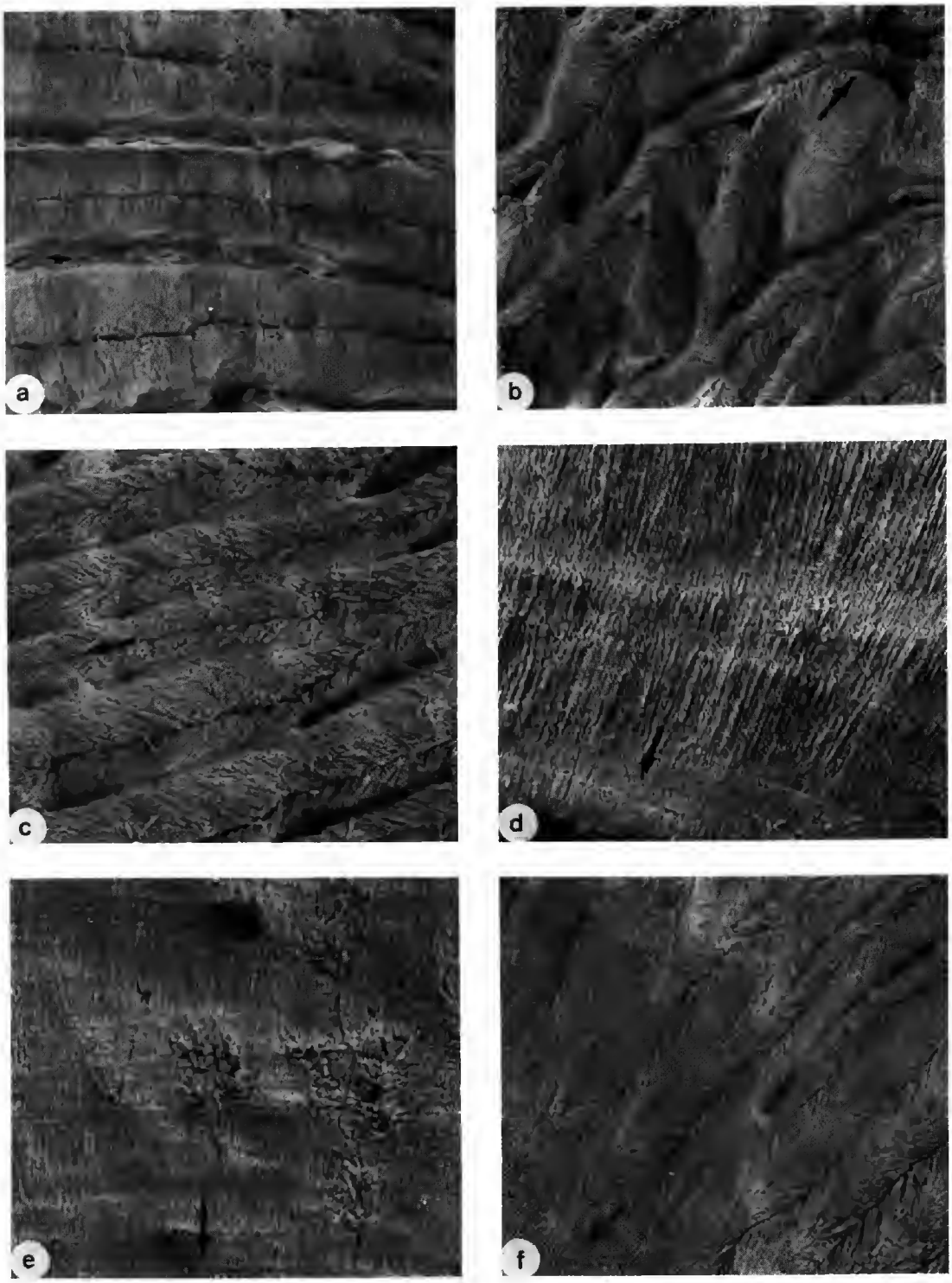
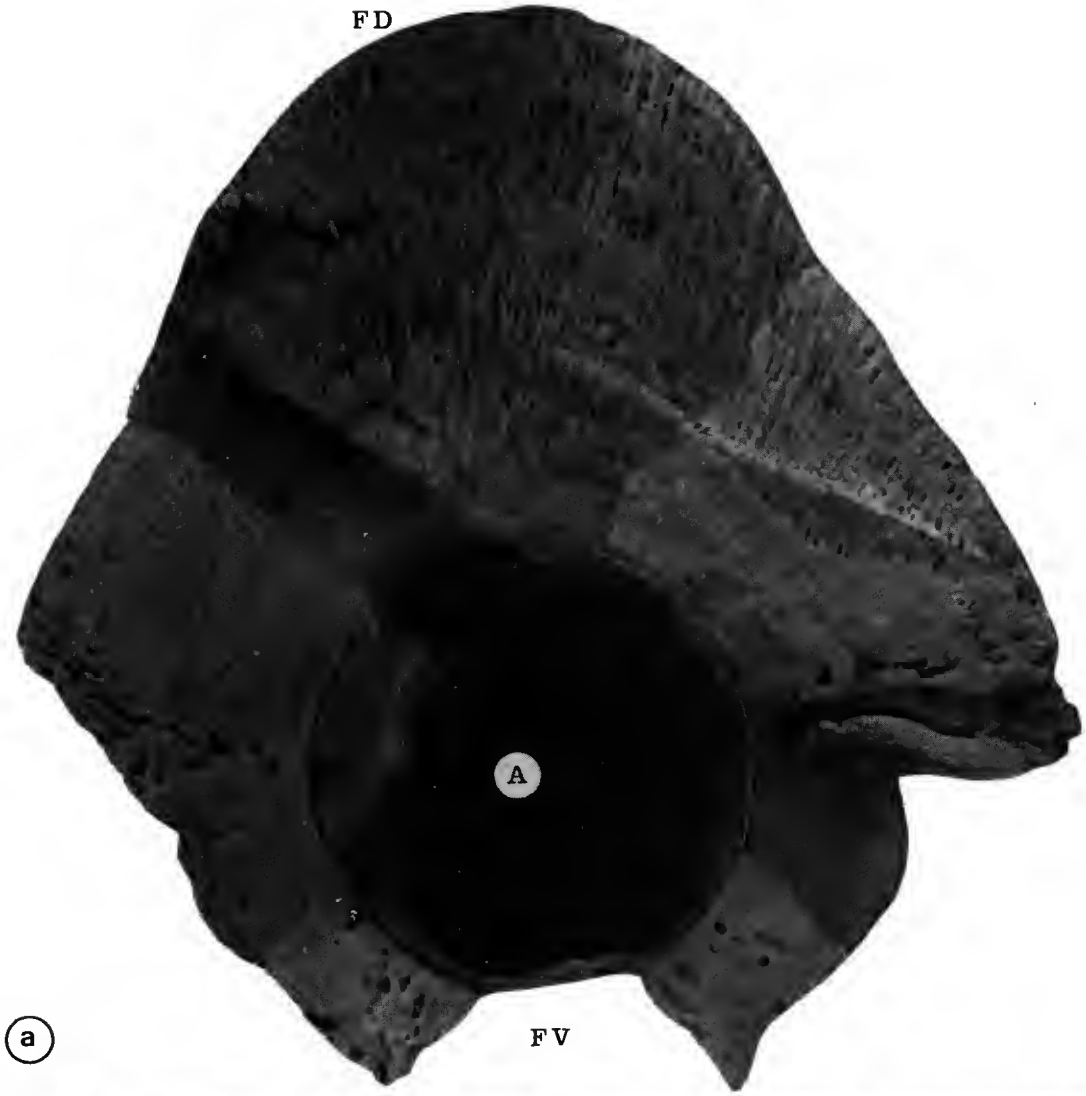


PLANCHE IV

PLANCHE V

B. levesquei

a : Coupe transversale dans la zone alvéolaire. L'alvéole (A) est nettement décentrée vers la face ventrale (FV). La majeure partie de la face dorsale (FD) est composée de secteurs radiaires qui disparaissent progressivement vers les quadrants latéraux et sont absents dans la face ventrale incomplète sur ce spécimen. × 28.
b : Zone plicimorphe de la partie post-alvéolaire du rostre avec la disposition en « feuilles de chêne ». × 255.
c : « Centre » ou « cœur » (= ligne apicale) de la zone post-alvéolaire du rostre, en coupe transversale. × 80.


FD
A
a
FV

b

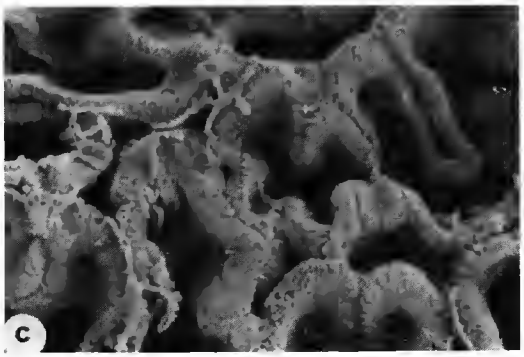

c

PLANCHE VI

B. levesquei

a : Coupe transversale de la zone alvéolaire, zone interne de la face ventrale sans secteurs radiaires mais avec stries de croissance visibles. × 990.
b : Coupe transversale de la zone alvéolaire — détail des fibres aragonitiques dans un quadrant latéral. × 9 800.
c : Coupe transversale la plus antérieure dans la zone alvéolaire ; seule la face dorsale est conservée. La face interne est dépourvue de secteurs radiaires ; ceux-ci se développent seulement sur la face externe. × 36.
d : Détail de la précédente : transition entre la face interne sans secteurs (FI) et les premiers secteurs imparfaits (S). × 305.
e : Détail de la fig. c : face interne (FI) longeant l'alvéole. × 960.

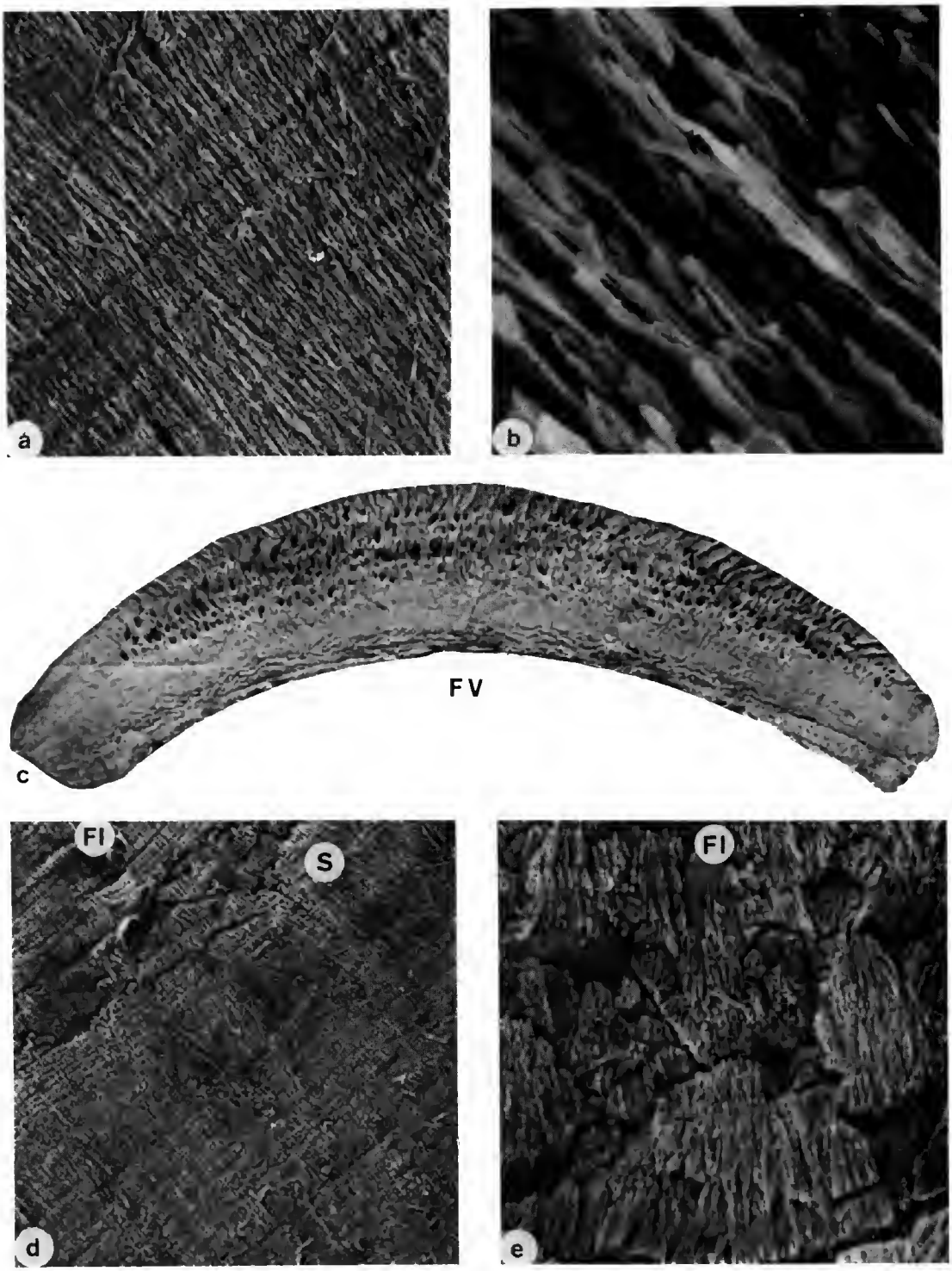


PLANCHE VI

Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris, 4e sér., **8**, 1986,
section C, n° 1 : 77-88.

Découverte du premier Ionoscopidae (Pisces, Halecomorphi) sud-américain, *Oshunia brevis* n. g., n. sp., dans le Crétacé inférieur de la Chapada do Araripe (nord-est du Brésil)

par Sylvie Wenz et Alexander W. A. Kellner

Résumé. — Identification et description d'un nouveau genre et d'une nouvelle espèce, *Oshunia brevis* n. g., n. sp., dans la formation Santana (Aptien) de la Chapada do Araripe, nord-est du Brésil. Les caractères spécialisés de l'endosquelette caudal montrent l'étroite parenté d'*Oshunia brevis* avec les Ionoscopidae. La mise en évidence chez *Oshunia brevis* et *Ionoscopus desori* de la disposition carré-symplectique, significative des Halecomorphi, a permis de préciser la position taxinomique des Ionoscopidae. C'est la première mention de la famille en Amérique du Sud.

Abstract. — Identification and description of a new genus, new species, *Oshunia brevis* n. g., n. sp., from the Santana formation (Aptian) of the Chapada do Araripe (northeastern Brazil). The specialised endoskeletal characters bear the evidence of a close phylogenetical relationship of *Oshunia brevis* with the Ionoscopidae. The same quadrate-symplecticum relationship, typical of the Halecomorphi, has been found in both *Oshunia brevis* and *Ionoscopus desori*, thus determining the taxonomic position of the Ionoscopidae. The family is mentioned for the first time in South America.

S. Wenz, *UA 12 du CNRS, Institut de Paléontologie, Muséum national d'Histoire naturelle, 8 rue Buffon, 75005 Paris.*
A. W. A. Kellner, *DNPM, Seção de Paleontologia, av. Pasteur 404, 22290 Rio de Janeiro, RJ. Brésil.*

Introduction

Les nodules calcaires du Bassin de Araripe (nord-est du Brésil) sont célèbres depuis le début du siècle dernier par la riche faune de Vertébrés qu'ils ont livrée. Elle comprend de rares Reptiles (Crocodiliens, Tortues, Ptérosaures) et de très nombreux Poissons : Sélaciens (rares), Actinoptérygiens (au moins douze genres dont certains représentés par un grand nombre d'individus) et Actinistiens (rares).

La Chapada do Araripe, plateau de 180 km de long sur 30 à 50 de large, est située au nord-est du Brésil à la limite des états de Ceará au nord et de Pernambuco au sud, elle atteint à l'ouest l'état de Piaui. Les gisements fossilifères sont situés sur tout le pourtour de la Chapada.

La formation Santana, qui a livré les nodules fossilifères, est divisée en trois membres : Crato (inférieur), Ipubi (moyen) et Romualdo (supérieur). Les nodules proviennent de la base du membre Romualdo. Crato et Ipubi sont aptiens. La partie supérieure du membre

Romualdo est albienne (*cf.* Campos et Wenz, 1982 ; Asmus et Campos, 1983 ; Schobbenhaus et Campos, 1984). Les nodules sont donc aptiens ou proches de la limite Aptien-Albien. Les fossiles recueillis dans les nodules sont associés à des Ostracodes non marins, témoignant d'un environnement continental (Bate, 1972).

Depuis quelques années, les nodules sont l'objet d'une exploitation intensive en vue de la commercialisation des fossiles avec deux conséquences fâcheuses entraînant une perte considérable d'informations : la localisation exacte des découvertes nous est inconnue dans la plupart des cas et un grand nombre de spécimens sont soigneusement falsifiés dans l'espoir de les rendre plus spectaculaires. Le nodule étudié ici n'a pas échappé à ce triste sort, localisation imprécise et falsification : sur l'un des deux demi-nodules, la forme du corps, la forme et l'extension des nageoires ont été redessinées par la main d'un artiste anonyme à l'aide d'une meule.

Le matériel comprend les deux moitiés d'un même nodule, l'une « améliorée », l'autre intacte (fig. 1). Le poisson est presque complet, mais la tête et l'exosquelette caudal ne sont que partiellement conservés. Il est écrasé latéralement et légèrement ventralement dans la région antérieure (tête et nageoires pectorales). L'endosquelette caudal a pu être dégagé.

Ce spécimen est conservé dans la collection particulière de M. Rainer Alexander von Blittersdorf qui a eu l'amabilité de nous le confier pour étude.

ÉTUDE SYSTÉMATIQUE

ACTINOPTERYGII
HALECOMORPHI
Ionoscopidae

Genre **OSHUNIA** n. g.

Espèce-Type : *Oshunia brevis*
Diagnose : Genre monospécifique, cf. diagnose de l'espèce.

Oshunia brevis n. sp.

Holotype : Collection Désirée, propriété de M. Rainer Alexander von Blittersdorf, CD-P-31.
Locus typicus : Chapada do Araripe, N-E Brésil.
Stratum typicum : Partie inférieure du membre Romualdo, Formation Santana, Aptien.

Derivatio nominis : *Oshunia*, référence à Oshun, divinité des rivières dans le culte afro-brésilien ; *brevis*, allusion à la présence d'un corps court.

Diagnose : Ionoscopidae de moyennes dimensions, atteignant 175 mm de longueur standard ; grande fente buccale ; articulation quadratomandibulaire située au-delà du bord postérieur de l'orbite ; centres vertébraux aussi hauts que longs ; parois vertébrales des centres renforcées par un trabécule longitudinal séparant deux fossettes profondes ; au moins dix centres uraux et douze hypuraux ; éléments hypochordaux décrochés ; épines neurales complètes sur vertèbres urales U_1 à U_6 ; six épuraux ; présence d'urodermaux ; corps trapu : longueur de la tête = 31 % de la longueur standard,

hauteur maximum = 27 % ; grandes pectorales : 2 + 22 lépidotriches ; pelviennes précédant l'origine de la nageoire dorsale ; dorsale allongée : 25 lépidotriches au moins ; anale reculée (3 + 12 lépidotriches) opposée aux derniers rayons de la dorsale ; écailles cycloïdes.

Description

Caractères généraux

C'est un Poisson de moyennes dimensions, la longueur standard de l'holotype et unique spécimen atteignant 175 mm. La forme générale du corps est courte et trapue : la hauteur maximum, atteinte au niveau du bord d'attaque de la nageoire dorsale, représente environ 27 % de la longueur standard. La tête est relativement longue (31 % de cette même longueur). La nageoire dorsale, étendue, formée de 25 lépidotriches au moins, débute peu après la seconde moitié de la longueur du corps sans la caudale (= 54 % de la longueur standard) ; la nageoire anale est reculée (75 % de cette longueur), opposée aux derniers rayons de la dorsale. Les nageoires paires sont très développées, notamment les pectorales ; les pelviennes sont situées légèrement en avant de la dorsale (53 % de la longueur standard). Le corps est entièrement recouvert d'écailles minces et cycloïdes (fig. 1).

Mensurations du type (en mm) : Longueur standard, 175 ; longueur du spécimen, 185 ; longueur de la tête, 55 ; hauteur maximum du corps, 47 ; hauteur du pédoncule caudal, 18 ; distance prédorsale, 95 ; distance préanale, 132 ; distance prépelvienne, 93.

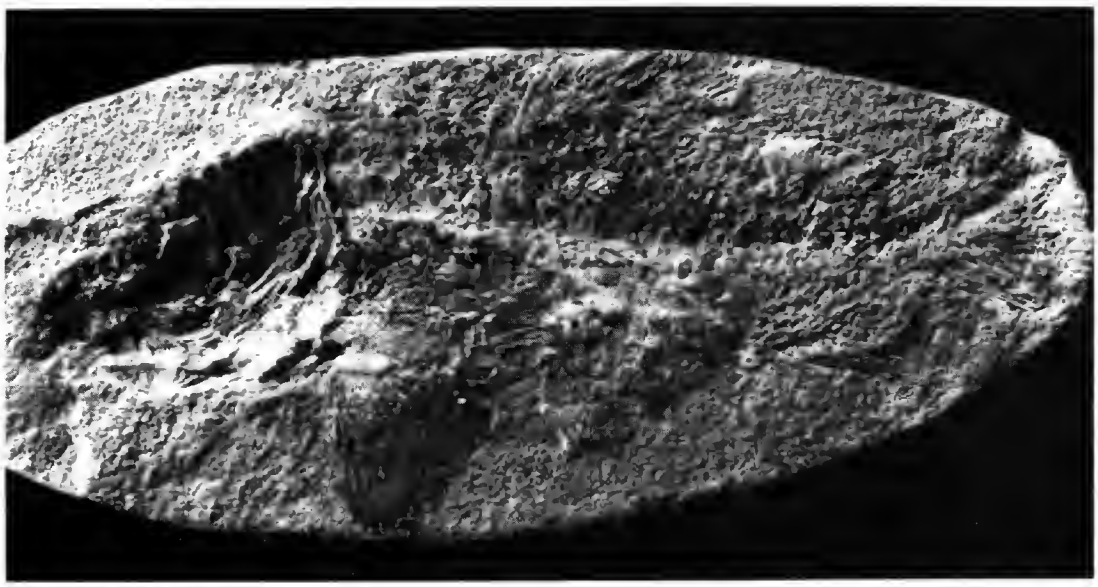


Fig. 1. — *Oshunia brevis*, holotype, corps × 3/4.

Squelette crânien

La tête n'est que partiellement conservée : mâchoires *pro parte*, squelette viscéral et appareil operculaire sont observables. La tête est caractérisée par une longue fente buccale, l'articulation quadratomandibulaire étant reportée au-delà du bord postérieur de l'orbite. La région préorbitaire, dont seuls le prémaxillaire et des traces de l'extrémité antérieure du frontal et de l'antorbitaire ont pu être identifiés, est courte. L'orbite, dont les dimensions

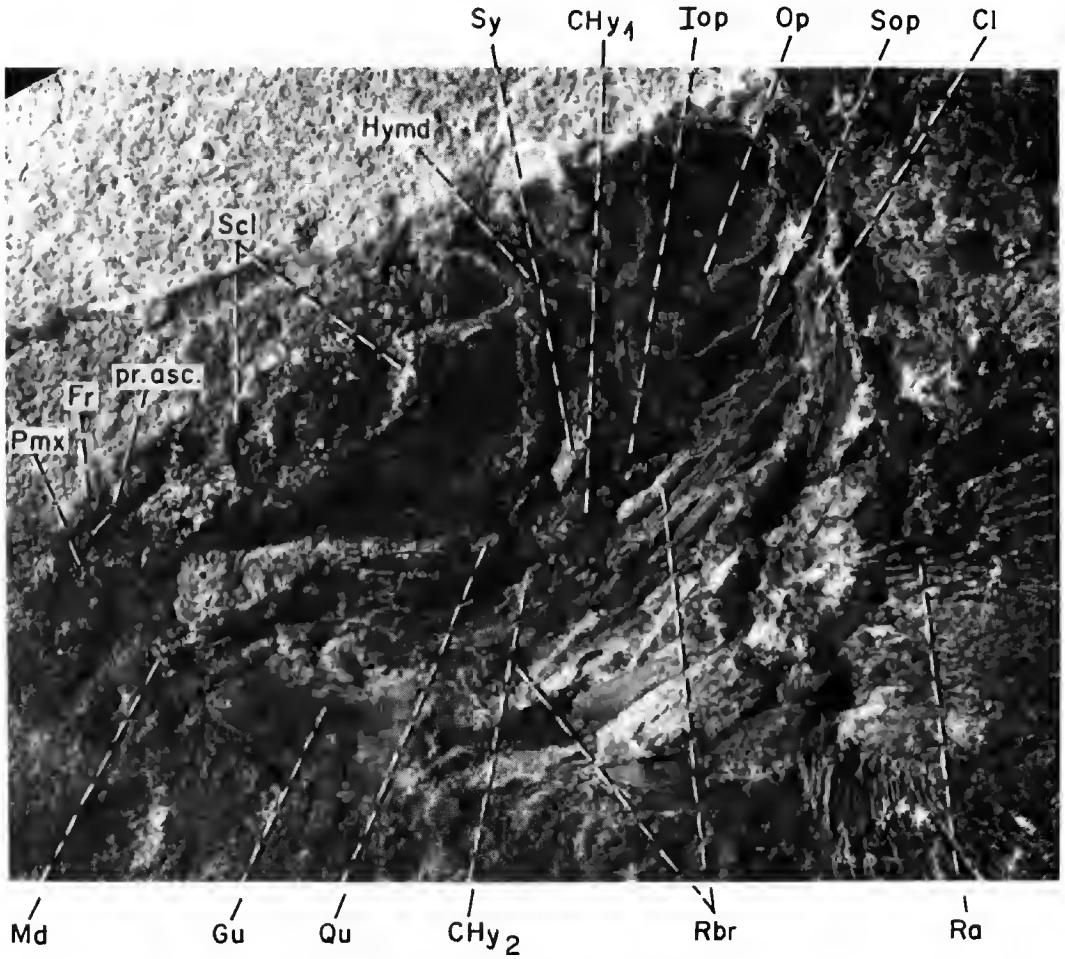


FIG. 2 — *Oshunia brevis*, holotype, tête × 2.
*CHy*₁, cératohyal proximal ; *CHy*₂, cératohyal distal, *Cl*, cleithrum ; *Ecptg*, ectoptérygoïde ; *Enptg*, entoptérygoïde ; *Fr*, frontal ; *Gu*, gulaire ; *Hymd*, hyomandibulaire ; *Iop*, interopercule ; *Md*, mandibule ; *Pmx*, prémaxillaire ; *pr. asc*, processus ascendant du prémaxillaire ; *Op*, opercule ; *Qu*, carré ; *Ra*, radial ; *Rbr*, rayon branchiostège ; *Scl*, anneau sclérotique ; *Sop*, sousopercule ; *Sy*, symplectique.

sont déduites de celles de l'anneau sclérotique, est relativement grande ; la région postorbitaire, appareil operculaire compris, est large (fig. 2).

Le prémaxillaire, en place, est de type amiiforme, avec un bord oral garni de dents fortes et pointues et un long processus ascendant dorsal qui devait être percé par le foramen olfactif. Seule l'extrémité symphysaire de la mandibule est conservée, elle est basse. Le bord oral de la mandibule est muni de dents comparables à celles du prémaxillaire. Quelques pores du canal mandibulaire sont bien visibles.

L'appareil operculaire est complet. L'opercule est grand, aussi large que haut. Il a la forme d'un trapèze aux angles arrondis, son bord ventral est légèrement oblique vers l'arrière et vers le haut. Le sousopercule, partiellement recouvert par l'opercule, est nettement moins élevé que ce dernier, sa hauteur moyenne représentant sensiblement le quart de celle de l'opercule. L'angle antérodorsal du sousopercule envoie un court processus qui remonte le long du bord antérieur de l'opercule. L'interopercule est triangulaire, il prolonge vers l'avant le bord antérieur du sousopercule. Les rayons branchiostèges, dont le nombre exact n'a pu être compté, sont nombreux (plus de 8). Il existe une grande et large gulaire dont le bord postérieur présente de courtes indentations.

Le carré est petit, massif, muni d'un fort condyle articulaire pour la mandibule, dirigé vers le bas (fig. 3). L'os occupe donc une position verticale. Le métaptérygoïde est l'os le plus développé des os ptérygoïdes. Il est étroitement accolé au bord dorsal du carré dans lequel il s'encastre par une profonde indentation. Vers l'avant, le métaptérygoïde envoie un processus en forme de V couché qui surmonte et partiellement recouvre l'entoptérygoïde. L'ectoptérygoïde et l'entoptérygoïde sont allongés antéropostérieurement. Le premier, en forme de baguette, est un peu plus allongé vers l'arrière, le second est nettement plus élevé. L'extension antérieure de ces os est inconnue.

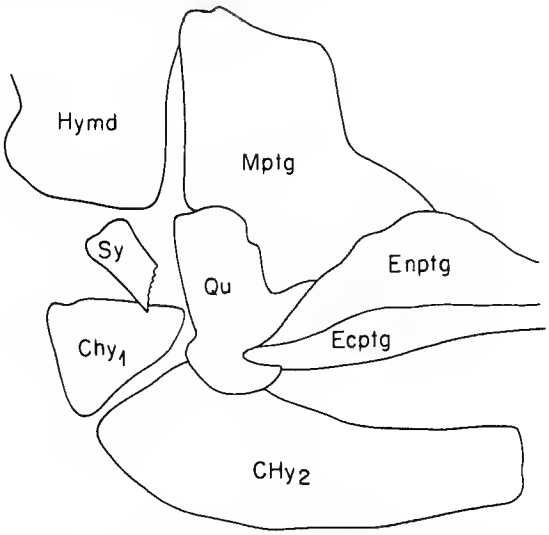


FIG. 3 — *Oshunia brevis*, holotype, reconstitution de la région du ptérygo-carré × 2.

Chy$_1$, cératohyal proximal ; *CHy*$_2$, cératohyal distal ; *Ecptg*, ectoptérygoïde ; *Enptg*, entoptérygoïde ; *Hymd*, hyomandibulaire ; *Mptg*, métaptérygoïde ; *Qu*, carré ; *Sy*, symplectique.

L'hyomandibulaire est incomplet, seul le corps de l'os étant conservé. Il est redressé, son bord ventral est large. Un court symplectique, massif et effilé vers le bas, double le bord postérieur du carré et vient s'accoler contre la région antérieure du bord ventral de l'hyomandibulaire. Le cératohyal proximal est triangulaire et court, le cératohyal distal est robuste, allongé antéropostérieurement, arqué, nettement moins élevé à l'avant qu'à l'arrière, non perforé.

L'un des intérêts de ce spécimen est de bien montrer les rapports carré-symplectique-hyomandibulaire (fig. 3). La disposition de ces os correspond à celle qui a été définie par PATTERSON (1973) chez les Halécomorphes : symplectique indépendant du carré, doublant cet os vers l'arrière et responsable, *pro parte*, de la suspension de la mandibule.

Squelette postcrânien

Squelette axial : Les vingt dernières vertèbres sont conservées, elles sont toutes postabdominales et quinze d'entre elles participent au soutien de l'exosquelette caudal. Les vertèbres sont monospondyles. Les centres vertébraux sont fortement ossifiés, aussi hauts que longs. Les parois vertébrales sont renforcées par un trabécule longitudinal séparant deux profondes fossettes, allongées antéropostérieurement.

Squelette caudal : L'endosquelette caudal (fig. 4 A et B) est formé de cinq vertèbres préurales et d'au moins dix vertèbres urales. Elles se relèvent régulièrement vers le haut.

Les éléments hypochordaux, six épines hémales et douze hypuraux, sont peu modifiés, c'est-à-dire à peine plus robustes et dilatés que les épines hémales à extrémités distales libres qui les précèdent. Tous ces éléments sont décrochés, non soudés aux centres. Il n'y a pas de radial distal indépendant prolongeant l'extrémité distale des épines hémales et des premiers hypuraux. Les éléments hypochordaux antérieurs sont disposés en éventail, leurs bords distaux dessinant un arc de cercle régulier. Ils sont suivis vers l'arrière et vers le haut par les sept ou huit derniers hypuraux dont les bords distaux débordent largement vers l'arrière l'arc de cercle dessiné par les éléments antérieurs. Ces derniers hypuraux sont de petites baguettes, allongées antéropostérieurement, presque horizontales, avec des têtes à peine différenciées. La première vertèbre urale (U_1) porte, outre le premier hypural, la dernière épine hémale. Il n'y a pas correspondance exacte entre centres uraux et hypuraux, deux hypuraux pouvant être supportés par un même centre.

Les arcs neuraux des vertèbres préurales et de la vertèbre U_1 sont prolongés par une épine neurale complète et longue. Les épines neurales des vertèbres urales 2 à 6 diminuent de longueur ; malgré leur réduction, elles restent bien individualisées. Des épines neurales complètes persistent donc jusqu'à la vertèbre U_6 et il y a correspondance exacte entre centres uraux et arcs neuraux/épines neurales. On compte six épuraux doublant l'extrémité distale des épines neurales des vertèbres PU_4 à U_5. Les épuraux sont allongés, en forme de baguettes à peine aplaties ; ils diminuent progressivement de longueur vers l'arrière, les deux derniers étant nettement plus courts.

Trois urodermaux sont présents, le premier surmontant les trois dernières vertèbres urales. Le nombre réel d'urodermaux devait être nettement plus élevé mais ces éléments n'ont pas pu être dégagés.

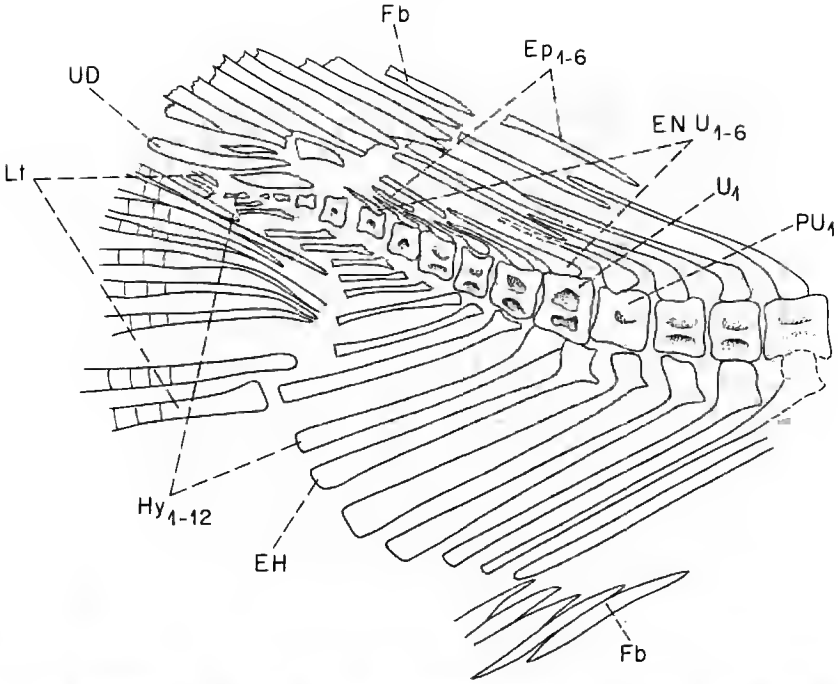


FIG. 4. — *Oshunia brevis*, holotype, endosquelette caudal × 3.
EH, épine hémale ; *EN*, épine neurale ; *Ep*, épural ; *Fb*, fulcre basilaire ; *Hy*, hypural ; *Lt*, lépidotriche ; *PU*, centre préural ; *U*, centre ural ; *UD*, urodermal.

La forme de la nageoire caudale n'est pas connue, seules les fulcres basilaires et l'extrémité proximale des lépidotriches (article basal et segments transversaux proximaux) étant conservés. On compte au moins dix grands fulcres basilaires en avant du bord dorsal de la nageoire et seulement trois au bord ventral. Dans ce dernier cas, les fulcres font place vers l'arrière à de courts rayons marginaux, segmentés transversalement à leurs extrémités distales et non dichotomes. Les rayons n'étant que partiellement conservés, il est difficile de faire la part entre rayons marginaux et rayons principaux ; il n'en reste pas moins que le nombre de ces derniers est élevé, de l'ordre de vingt-quatre. Les lépidotriches dorsaux ont un article basal long et étroit, effilé en pointe, certains fortement recourbés vers le bas. Ils recouvrent largement les derniers hypuraux. Les articles basaux des lépidotriches des régions moyenne et ventrale de la nageoire sont beaucoup plus courts, rectilignes, et recouvrent faiblement les hypuraux antérieurs et les épines hémales. Dans la région moyenne de la nageoire chaque hypural supporte un lépidotriche.

Nageoires

Les nageoires pectorales sont insérées légèrement au-dessus du profil ventral. On compte sept radiaux allongés, en forme de massue. Les pectorales sont très développées tant par le nombre élevé des lépidotriches (au moins 22) que par leur longueur. Les lépidotriches, segmentés et dichotomes, sont précédés de deux petits rayons marginaux insegmentés et courts. Le maximum de longueur est atteint par le premier lépidotriche, les suivants diminuant régulièrement de longueur jusqu'au dernier. Les rayons les plus longs atteignent pratiquement le niveau des pelviennes vers l'arrière. Les fulcres n'ont pas été observés.

L'origine des nageoires pelviennes précède de peu le bord antérieur de la nageoire dorsale. La plaque de l'endosquelette pelvien a la forme d'une baguette allongée, étranglée au niveau du quart postérieur de sa longueur. Elle est plus dilatée à l'avant qu'à l'arrière. Elle est dépourvue de tout relief. Seuls trois ou quatre lépidotriches, très longs, sont conservés. Le nombre total des rayons dermiques devait être peu élevé.

La nageoire dorsale débute au milieu de la ligne du dos entre l'occiput et le pédoncule caudal. Elle est allongée, occupant plus du tiers de cette même ligne du dos. On compte au moins ving-cinq lépidotriches et rayons marginaux. La hauteur de la nageoire n'est pas connue mais les lépidotriches de la moitié postérieure sont courts.

La nageoire anale est opposée aux derniers rayons de la dorsale et sa base s'étend légèrement au-delà. On compte trois rayons marginaux courts, indivis ou segmentés transversalement seulement, suivis de douze lépidotriches segmentés transversalement et dichotomes, le premier est le plus long, le dernier est de moitié aussi long, ce qui donne à la nageoire une forme trapézoïdale.

Revêtement écailleux

Les écailles sont minces, cycloïdes, allongées antéropostérieurement, fortement imbriquées, de type amioïde.

Affinités d'*Oshunia brevis*

Les rapports carré-symplectique-hyomandibulaire sont du type halécomorphe tel qu'il a été défini par Patterson (1973). Comme le carré, le symplectique est directement responsable de la suspension de la mandibule. L'os s'appuie contre la moitié antérieure du bord distal d'un hyomandibulaire redressé. La position du symplectique par rapport au carré montre que cet os, bien que cassé dans sa région distale, est indépendant du carré et double le bord postérieur de ce dernier. Une telle disposition se retrouve chez les Caturidés, les Amiidés, les Parasemionotidés et (?) les Ophiopsidés avec toutefois de légères variantes portant essentiellement sur la persistance et les modifications du quadratojugal ou sur la disparition de cet os.

Le statut de la famille des Ionoscopidés a également été discuté par Patterson. Au vu de la structure de l'endosquelette caudal, l'auteur rapproche Ionoscopidés et Oligopleuridés et rattache aux Ionoscopidés le genre *Callopterus* décrit tantôt comme un Caturidé (Woodward, 1895, et la plupart des auteurs) tantôt comme un Sémionotidé (Saint-Seine, 1949). La région du carré n'étant pas connue jusqu'ici chez les Ionoscopidés et les Oligopleuridés, Patterson les considère comme des Halécostomes *incertae sedis*.

Nous avons pu mettre en évidence sur un *Ionoscopus* du Kimméridgien supérieur de Cerin la présence d'un symplectique indépendant du carré et comparable en tout point à celui qui est décrit chez *Oshunia*. L'indépendance du carré et du symplectique est confirmée sur divers autres spécimens de Cerin par l'observation de la fossette articulaire de la mandibule, fossette qui est subdivisée en deux parties bien distinctes correspondant au carré et au symplectique confirmant ainsi le rôle de ce dernier dans la suspension de la mandibule. Ces observations impliquent que *Ionoscopus* au moins est bien un Halécomorphe ; par contre, elles ne préjugent pas de la position systématique des Oligopleuridés d'une part, de *Callopterus* d'autre part.

Parmi les caractères crâniens, la présence d'un prémaxillaire muni d'une forte branche postérieure ascendante qui devait être percée par le foramen olfactif, prémaxillaire comparable à celui d'*Amia* par exemple, et la présence d'un hyomandibulaire redressé confirment le rapprochement *Oshunia* et Halécomorphes. À ces caractères, il convient d'ajouter une série de dispositions primitives rencontrées chez les Halécomorphes et pouvant persister chez certains Téléostéens primitifs tels qu'une grande fente buccale, un appareil operculaire complet, une grande gulaire, un nombre élevé de rayons branchiostèges.

Au vu des caractères crâniens, *Oshunia* doit être comparé aux Halécomorphes et à une série de formes provisoirement considérées comme des Halécomorphes *incertae sedis*.

La présence de centres vertébraux ossifiés interdit tout rapprochement avec la plupart des Caturidés qui sont dépourvus de centres vertébraux ossifiés. Les rares genres de la famille présentant des centres vertébraux ossifiés ou partiellement ossifiés ou bien ont été rapportés à d'autres familles (*Macrepistius*, cf. Bartram, 1975) ou bien présentent des centres très différents dont le degré et le mode d'ossification ne sont pas comparables.

La monospondylie permet de distinguer *Oshunia* des Amiidés.

L'endosquelette caudal est très significatif, il est caractérisé par :

— le nombre élevé des centres uraux (au moins 10) ;
— le nombre élevé des hypuraux (au moins 12), non soudés aux centres vertébraux ;
— l'orientation des derniers hypuraux ;
— l'absence de radiaux distaux ;
— la présence d'épines neurales complètes sur les vertèbres urales U_1 à U_6 ;
— la présence de six épuraux ;
— la présence d'urodermaux.

Les deux premiers caractères se retrouvent chez les Halécomorphes en général. *Oshunia* se distingue des Caturidés, des Parasémionotidés et de *Callopterus* (cf. SAINT-SEINE, 1949) par la présence de centres uraux ossifiés, des Caturidés et de *Lepisosteus* par l'absence de radiaux distaux individualisés, des Amiidés par la persistance d'épines neurales complètes sur les vertèbres urales U_1 à U_6 et par l'orientation des derniers hypuraux, orientation qui rappelle celle de *Lepisosteus* et se retrouve chez certains *Caturus* (observations personnelles).

L'endosquelette caudal est significatif des Ionoscopidés. On retrouve chez *Ionoscopus* l'ensemble des caractères énumérés ci-dessus avec de légères différences portant sur le nombre plus élevé des vertèbres urales (13), des hypuraux (20) et des urodermaux (au moins 7). Certaines de ces différences sont plus apparentes que réelles (non conservation d'une partie des urodermaux chez *Oshunia*), d'autres peuvent relever de variations d'ordre générique. D'après PATTERSON, les Oligopleuridés présentent un endosquelette caudal très proche de celui des Ionoscopidés.

Bien que le nombre de rayons principaux de l'exosquelette caudal soit inconnu chez *Oshunia*, ce nombre devait être élevé (24 environ) et comparable à celui d'*Ionoscopus*.

Le revêtement écailleux rappelle ce que l'on connaît chez *Ionoscopus*.

De ce qui précède, il résulte que les relations phylogénétiques d'*Oshunia* s'établissent avec les Ionoscopidés et les Oligopleuridés au vu de la structure de l'endosquelette caudal. La disposition de la région du carré se retrouve chez *Ionoscopus*, rapprochement confirmé par l'ensemble des caractères crâniens et postcrâniens observables.

Les Oligopleuridés sont connus par le seul genre *Oligopleurus*, les Ionoscopidés par les genres *Ionoscopus* et *Spathiurus*, le genre *Opsigonus* étant *pro parte* ou en totalité synonyme de *Ionoscopus*. Les proportions relatives des régions pré-orbitaire, orbitaire et postorbitaire et celles de la tête et du corps interdisent tout rapprochement avec *Oligopleurus* et *Callopterus*. *Oshunia* se distingue du premier par la présence d'une longue fente buccale et du second par la présence de centres vertébraux ossifiés et par le revêtement écailleux. L'extension de la nageoire dorsale sépare *Oshunia* à la fois de *Ionoscopus*, *Oligopleurus* et *Callopterus* (dorsale courte) et de *Spathiurus*, caractérisé par une dorsale très allongée (44 lépidotriches, cf. DAVIS, 1887). En conclusion, dans l'état actuel de nos connaissances, il semble difficile d'identifier le genre du Brésil à aucun des taxons connus. Nous l'avons donc décrit sous le nom de *Oshunia brevis* n. g., n. sp.

Répartition géographique et stratigraphique des Ionoscopidés

La famille est connue du Kimméridgien supérieur de Cerin (*Ionoscopus desori*) jusqu'au Cénomanien du Liban (*Spathiurus dorsalis*). Le genre *Ionoscopus* existe également dans le Tithonique de Bavière où il est représenté par *I. cyprinoides* et un certain nombre d'espèces assez mal définies, et dans le Crétacé inférieur de Pietraroia (Italie du Sud) avec *I. petrarojae*.

Les Ionoscopidés ont été également signalés dans le Crétacé supérieur de Lésina (Dalmatie) sous le nom de *Spathiurus* (? *Opsigonus*) *megaluriformis* (Kramberger-Gorjanovic, 1895, Arambourg, 1954) et dans le Karst triestain sous le nom de *Opsigonus* sp. (d'Erasmo, 1952). La découverte d'*Oshunia* est la première mention des Ionoscopidés hors de l'Europe et du pourtour de la Méditerranée (Italie, Liban).

Conclusion

Nous retiendrons les points suivants :

1. L'association ichtyologique du Crétacé inférieur de la Chapada do Araripe s'est enrichie d'un taxon nouveau, *Oshunia brevis* n. g., n. sp., dont les affinités s'établissent avec les Ionoscopidés.

2.. Les Ionoscopidés sont des Halécomorphes au même titre que les Caturidés et les Amiidés.

3. L'aire de distribution des Ionoscopidés est considérablement modifiée par la découverte d'*Oshunia* au Brésil. La famille des Ionoscopidés perd le caractère strictement marin qu'elle avait jusqu'ici.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Arambourg, C., 1954. — Les Poissons crétacés du Jebel Tselfat (Maroc). *Notes Mém. Serv. Mines Carte géol. Maroc*, **118** : 170 p., 68 fig., 20 pl., 5 tabl.

Asmus, H. E., et D. de A. Campos, 1983. — Stratigraphic division of the Brazilian continental margin and its paleogeographic significance. *Zitteliana*, München, **10** : 265-276, 5 fig.

Bartram, A., 1975. — The holostean fish genus *Ophiopsis* Agassiz. *Zool. J. Linn. Soc.*, **56** (3) : 183-205, 8 fig.

Bate, R. H., 1972. — Phosphatized ostracods with appendages from the Lower Cretaceous of Brazil. *Palaeontology*, London, **15** : 379-393, pl. 66-71.

Campos, D. de A., et S. Wenz, 1982. — Première découverte de Coelacanthes dans le Crétacé inférieur de la Chapada do Araripe (Brésil). *C. r. hebd. Séanc. Acad. Sci., Paris*, D, **294** : 1151-1154.

DAVIS, J. W., 1887. — The fossil fishes of the Chalk of Mount Lebanon, in Syria. *Scient. Trans. R. Dubl. Soc.,* **4** (II) : 457-636, 25 pl.

ERASMO, G. D', 1946. — L'ittiofauna cretacea dei dintorni di Comeno nel Carso Triestino. *Atti. Accad. Sci. fis. mat. Napoli,* **2** (8) : 136 p., 34 fig., 1 pl.

KRAMBERGER-GORJANOVIC, C., 1895. — De piscibus fossilibus Comeni, Mrzleci, Lesinae et M. Libanonis. *Djela jugosl. Akad. Znan. Umjetn.*, Zagreb, **16** : 76 p., 12 pl.

PATTERSON, C., 1973. — Interrelationships of holosteans. *In* : P. H. Greenwood, R. S. Miles & C. Patterson (edit), Interrelationships of fishes. *Zool. J. Linn. Soc.,* **53**, suppl. I : 233-305, 27 fig.

SAINT-SEINE, P. DE, 1949. — Les Poissons des calcaires lithographiques de Cerin (Ain). *Nouv. Archs. Mus. Hist. nat. Lyon,* **2** : 357 p., 120 fig., 26 pl.

SCHOBBENHAUS, C., et D. de A. CAMPOS, 1984. — A evoluçao da plataforma Sul-Americana no Brasil e suas principais concentraçoes minerais. *In* : C. SCHOBBENHAUS *et alii*, ed., Geologia do Brasil. Brasilia, DNPM.

WOODWARD, A. S., 1895. — Catalogue of the fossil fishes in the British Museum (Natural History), **3** : XLII + 544 p., 18 pl. London : Brit. Mus. (Nat. Hist.).

Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris, 4e sér., **8**, 1986,
section C, n° 1 : 89-147.

Étude comparative des chondrites carbonées d'Allende et de Léoville [1]

I. Minéralogie, pétrographie, chimie

par Mireille CHRISTOPHE MICHEL-LÉVY

Résumé. — Cette première partie décrit les différents types d'objets rencontrés dans les météorites d'Allende et de Léoville, appartenant toutes deux au groupe CV3, mais dont l'une est un terme oxydé, l'autre un terme réduit. On passe successivement en revue les inclusions magnésiennes, les inclusions alumino-calciques, leurs types macro- et microcristallins, les enclaves de chondrites carbonées, les produits fins appelés matrice entourant le tout. Les observations originales sont situées dans le cadre des très nombreux travaux publiés sur ces météorites sans prétendre à une revue exhaustive. On essaye de montrer les difficultés d'interprétation, les apparentes contradictions rencontrées lorsqu'on cherche à reconstituer l'histoire de ces roches vieilles de quatre milliards et demi d'années.

Abstract. — This first paper is a description of the different kinds of objects which are met in the Allende and Leoville meteorites, both CV3 chondrites, the first, an oxidised specimen, the other, a reduced one. Magnesian inclusions, calco-aluminous inclusions (CAI), their coarse and fine-grained types, some of the xenoliths they enclose, the matrix are shortly described. New observations are joint to the numerous already known ones, without the possibility of a complete review in the restricted frame of this work. It has been tried to show the difficulties of interpretation, the contradictions we are encountered when a reconstitution of the history of these four and a halth billion years old stones is attempted.

M. CHRISTOPHE MICHEL-LÉVY, *Laboratoire de Minéralogie-Cristallographie associé au CNRS, Université PARIS VI, 4, pl. Jussieu, 75252 Paris cedex 05.*

INTRODUCTION

Allende et Léoville sont deux météorites qui contiennent des inclusions blanches, riches en éléments réfractaires, spectaculaires par leurs dimensions et leur variété.

C'est dans certaines de ces inclusions qu'ont été décelées les premières anomalies isotopiques du magnésium, puis du silicium, du calcium, du titane, et les excès les plus importants de ^{16}O, anomalies dont les implications cosmochimiques et astrophysiques, encore mal comprises, sont considérables.

Une littérature abondante est apparue au cours des quinze dernières années à ce sujet, il est donc difficile, dans le cadre de cet exposé de résumer à la fois nos propres observa-

1. Une deuxième partie, « Données isotopiques » par J. C. LORIN DE LA GRANDMAISON, est en préparation.

tions et les données publiées ; un choix s'impose, mais il est évident que pour essayer de comprendre l'histoire de ces pierres, tous les éléments qui les composent méritent un examen attentif.

Cette première partie est consacrée à la minéralogie, la pétrographie, la composition chimique des deux météorites qui font partie du type « Vigarano » dont on connaît une douzaine de spécimens. Elle résume des recherches conduites principalement à l'aide de la microscopie optique et électronique à balayage (MEB), parfois de la microscopie électronique par transmission (TEM) et d'analyses ponctuelles à la microsonde électronique.

Certains des échantillons décrits ont servi de support aux mesures isotopiques réalisées par J.-C. Lorin à l'aide du microanalyseur ionique. Celui-ci exposera (article en préparation) les expériences qu'il a réalisées ainsi que l'ensemble des données isotopiques recueillies sur ces matériaux.

Il concluera en envisageant les scénarios proposés pour expliquer les faits, tandis que je me bornerai ici à souligner les contraintes physico-chimiques dont doivent tenir compte les hypothèses génétiques.

Choix des échantillons

Depuis sa chute en « averse » au Mexique en 1969, plusieurs centaines de publications ont été consacrées à la météorite d'Allende dont deux à trois tonnes d'échantillons ont été recueillis sur une aire allongée de 300 km^2. Par contre, la météorite de Léoville qui a été identifiée au Kansas en 1965, ne pèse que 1,629 kg. Une trentaine de publications s'y réfèrent rapportant des données sur des points particuliers, sans étude d'ensemble jusqu'à présent.

Dans la mesure où les spécimens connus constituent un groupe assez bien défini, Léoville représente d'après McSween (1977) un des termes peu métamorphisé et chimiquement réduit, tandis qu'Allende serait un des termes le plus métamorphisé et oxydé, sans qu'une relation puisse être établie entre degré d'oxydo-réduction et intensité de métamorphisme thermique. L'existence d'un tel métamorphisme est d'ailleurs controversée (MacPherson et Grossman, 1981). Pour notre part, nous pensons que l'histoire de Léoville est relativement plus simple, du point de vue des interactions chimiques entre ses différentes composantes, que celle d'Allende.

Les échantillons utilisés proviennent :

— pour Allende : échantillons IAM 1 à 5, de l'Université Nationale Autonome de Mexico ; H103-133 de l'American Meteorite Laboratory ;

— pour Léoville : échantillons L ou LV... prêtés par Gérard Poupeau et Robert Walker et n° H40.99 « LH » de l'American Meteorite Laboratory.

En outre, B. Mason nous a prêté les sections minces polies n°s 3529-42 (Allende) et 3536b (Léoville) de la Smithsonian Institution, Washington, E. A. King, plusieurs plaques minces couvertes d'Allende, A. El Goresy, une section polie de Léoville de la collection de l'Institut Max Planck d'Heidelberg, et F. Begemann nous a donné des fragments xénolithiques des deux chondrites de la collection de l'Institut Max Planck de Mayence.

Ces météorites appartiennent au type apparemment le plus conforme au modèle défini par ANDERS dès 1964 d'après des considérations chimiques : les chondrites seraient un mélange d'un composant à granulométrie très fine, riche en éléments volatils, représentant un condensat primaire de la nébuleuse et d'un composant plus grossier, pauvre en éléments volatils, formé à haute température. La distinction entre matériaux grossiers, chondres, fragments de roches et de minéraux, inclus dans une matrice microcristalline est en effet très nette, mais elle recouvre une réalité complexe que nous allons essayer d'élucider.

TEXTURE

La texture d'Allende semble isotrope quand on considère la répartition des objets arrondis (0,3 à 2 mm pour la plupart) (pl. I, 1) mais la disposition semi-parallèle de filaments microcristallins et un rubanement visible par endroits dans la matrice permettent de supposer une accrétion finale par sédimentation. Des mesures réalisées par T. V. KING *et al.* (1978) confirment l'existence de foliation et de linéation. L'ensemble est poreux. Des objets fragiles se sont brisés sur place : c'est notamment le cas de grandes (8-10 mm) inclusions blanches à contours très irréguliers dont on trouve souvent les fragments groupés les uns auprès des autres.

Par contraste, Léoville (pl. I, 2), qui est très compacte, montre une déformation nette de tous les objets qui sont aplatis parallèlement avec un rapport longueur/largeur de 1,25 à 1,5.

Cette déformation affecte également les chondres inclus dans une enclave sombre, centimétrique qui recoupe obliquement la stratification générale. Une anisotropie texturale aussi forte n'est pas fréquente dans les chondrites et reste mal expliquée dans ce cas précis. C'est la marque d'une compression perpendiculaire à la sédimentation primitive (d'après la disposition des filaments microcristallins qui sont parallèles au plan d'aplatissement) ; elle n'a pas été accompagnée de dégazage. Elle semble avoir eu lieu sur du matériel si chaud qu'il était encore plastique : un chondre lenticulaire présente des barres d'olivine déformées dans du verre limpide non fracturé ; le verre n'étant pas dévitrifié, le refroidissement ultérieur a nécessairement été rapide. La déformation sous l'effet d'une surcharge lors de l'accrétion — solution préconisée par CAIN et MCSWEEN (1984) — ne convient donc pas. Cependant, un effet de choc ne semble pas pouvoir non plus résoudre la question : la météorite a subi un choc d'intensité moyenne comme le prouve la présence de bandes de Neumann dans la kamacite et de dislocations dans l'olivine correspondant à une déformation modérée à forte, à température faible (CHRISTOPHE *et al.*, 1979 ; MULLER et WLOTZKA, 1982), choc insuffisant pour provoquer la déformation des chondres (d'après les expériences de E. A. KING *et al.*, 1978).

COMPOSITION CHIMIQUE

L'homogénéité chimique a pu être testée sur Allende à cause de la quantité de matériau disponible : les concentrations d'inclusions blanches, facilement repérables visuellement, laissent croire à des hétérogénéités ; celles-ci sont évidentes sur des échantillons de quelques

grammes mais des analyses effectuées sur des échantillons de 100 g montrent à cette échelle une grande homogénéité (P. H. Johnson et E. A. King, 1978).

Les compositions chimiques des deux chondrites sont indiquées sur le tableau I, anal. 1 et 10 (p. 112).

Les fortes différences de teneur en fer métal, fer oxydé, l'existence de nickel sous forme sulfurée (en fait, pentlandite $(Fe, Ni)_9S_8$) dans Allende reflètent nettement les degrés d'oxydo-réduction opposés des deux météorites, très semblables par ailleurs.

Constituants

Les proportions relatives de matrice microcristalline et d'inclusions variées sont difficiles à estimer : lorsqu'on observe une plaque mince d'épaisseur standard (30 μm), la matrice est opaque et on mesure les proportions de ce matériel opaque. Mais dans une section amincie à 10 μm, la matrice devenue transparente révèle son hétérogénéité : de nombreuses inclusions de petites dimensions s'y rencontrent ; les exclure reviendrait à diminuer les proportions de matrice.

On trouve dans la littérature des mesures par analyse modale qui vont du simple au double. Celles de McSween et Richardson (1977) semblent les plus proches de la réalité tout en étant des valeurs maxima puisqu'elles comprennent beaucoup d'inclusions inférieures à 100 μm. Allende et Léoville contiendraient respectivement 38 et 35 % de matrice. Le reste, formé de chondres, de fragments rocheux, de débris minéraux, contient de 5 % (Clarke *et al.*, 1970) à 8 % (Marvin *et al.*, 1970) de matériaux silicatés riches en aluminium et calcium à côté des silicates magnésiens plus banaux.

Ces proportions exceptionnelles de matériaux réfractaires — aisément repérables par leur couleur claire — sont caractéristiques des chondrites carbonées du type Vigarano, mais ceux-ci sont aussi présents dans d'autres chondrites carbonées et ne sont pas totalement absents des chondrites ordinaires non équilibrées (Bischoff *et al.*, 1983 par exemple). Leur étude a été beaucoup plus développée que celle des matériaux magnésiens dont les différences avec ceux des chondrites ordinaires ne sont pas évidentes.

I. INCLUSIONS MACROCRISTALLINES

A — Prédominance de silicates magnésiens

Les chondres sphériques sont peu abondants en regard de ceux à forme irrégulière aussi appelés fragments rocheux, mais on les remarque, car ce sont surtout des chondres à barres d'olivine (pl. II, 3). Les chondres fibroradiés sont très rares, la texture porphyrique est beaucoup moins fréquente que la texture microgrenue (différence notable avec les chondrites ordinaires). Comme on trouve un plus grand nombre de lacunes, de gouttes de verre, de gouttes opaques dans cette texture, on peut penser que les germes d'olivine ont été plus nombreux dans un verre silicaté fondu plus fluide que dans celui ayant généré la texture

porphyrique, dont les cristaux se développeraient dans un milieu plus visqueux, soit parce que moins riche en volatils, soit parce que déjà au subsolidus. Beaucoup de fragments ont une histoire ignée apparemment en deux temps, soulignée par la présence de minéraux opaques qui semblent intervenir surtout dans le deuxième temps, à granulométrie plus fine. Suivant les auteurs, les termes de halo (CLARKE *et al.*, 1970), de bordure accrétionnaire (WOOD, 1984), de bordure à gros grain (RUBIN, 1984) sont employés pour les décrire. Le terme de halo a été ensuite réservé à la bordure de matrice à grain très fin qui ourle les chondres.

RUBIN remarque l'abondance de ce type de « chondres » dans Allende (59 %) et sa rareté dans Léoville ($\leq$ 1 %). En comparant les analyses chimiques des chondres, de la bordure et de la matrice, il conclut à une parenté matrice-bordure, ce qui l'oblige à concevoir des amas de matrice portés à une température proche de la fusion à l'endroit même où se forment les chondres. Différents cas de figures sont illustrés dans la planche II.

Nous distinguerons deux types d'objets.

Le premier est représenté probablement en proportions analogues dans Léoville et Allende. Nous ne disposons pas de suffisamment de surface d'observation en plaque mince pour l'affirmer. Les silicates en cristaux atteignant 1/2 mm se trouvent au milieu d'une couronne plus ou moins régulière à granulométrie plus fine, mais pas très fine, où sont aussi présents des minéraux opaques à contours globuleux. Dans le cas de la figure 1 (pl. II), il s'agit d'un chondre pyroxénique à bordure pyroxénique, avec quelques petits grains d'olivine ; la figure 2 montre trois fragments à olivine et feldspath dans une pâte où la clinoenstatite prédomine. Même en l'absence d'analyses chimiques, on peut affirmer que dans les cas d'écorce pyroxénique, la matrice (ou l'olivine prédomine largement) n'intervient guère. Ce qui est vrai pour les fragments à dominante pyroxénique (les moins abondants) peut l'être aussi pour ceux à dominante olivine (pl. II, 4 et 5). La cristallisation a pu se faire en une seule fois dans des conditions où les forces de tension superficielle prédominent sur les forces de gravité avec immiscibilité silicates-minéraux opaques ; elle a pu aussi avoir lieu en deux temps avec inclusion de fragments déjà cristallisés dans du matériel fondu, ou encore résulter de la modification des conditions physico-chimiques en cours de cristallisation.

Le second type d'objet (pl. II, 3), montrant une auréole transparente à grain fin autour des chondres ou fragments à olivine ou pyroxène, n'est représenté que dans Allende où il est très fréquent. Son étude détaillée prouve l'influence considérable de modifications secondaires dans cette météorite sur la périphérie et parfois jusqu'au cœur de certains chondres. Le pyroxène est pseudomorphosé par les bords et peut se débiter en petits prismes d'olivine ferreuse : $MgSiO_3 + FeO \rightarrow (Mg,Fe)_2SiO_4$; du verre interstitiel est dissous libérant les cristaux aciculaires qui s'y étaient formés et un enrichissement en FeO se produit dans tous les silicates présents (pl. II, 7 et 8).

L'olivine, partout présente, a une composition dominante forstéritique (< Fa10) et le pyroxène est de la clinoenstatite (CLARKE *et al.*, 1970), mais on peut trouver quelques olivines jusqu'à Fa 50, surtout parmi les cristaux isolés d'Allende (SIMON et HAGGERTY, 1980). Les silicates magnésiens de Léoville sont encore moins ferreux que ceux d'Allende. Si nous prenons en exemple un chondre irrégulier de Léoville que nous avons étudié, nous voyons que le cœur est formé de forstérite et de clinoenstatite pures en cristaux d'environ 500 μm, alors que la périphérie, riche en minéraux opaques, est formée de petites olivines (50 μm) zonées de Fo 98 au cœur à Fo 93 au bord et de clinoenstatite En 99. La clinoenstatite est

assez alumineuse (0,8-1,3 % Al_2O_3) ; les teneurs en éléments mineurs (Ca, Cr, Ti) sont du même ordre que celles analysées par SIMON et HAGGERTY (1980) dans Allende.

Le verre interstitiel, dévitrifié ou non, est peu abondant dans des fragments rocheux mais il peut atteindre 40 % dans les chondres sphériques (SIMON et HAGGERTY, 1980) ; il concentre aluminium, calcium et alcalins.

Les *minéraux opaques* associés au chondres magnésiens sont nettement différents dans les deux météorites.

Allende

Au cœur de certains chondres compacts, on trouve quelques sphérules (5-20 μm de diamètre) de magnétite avec traces de chrome accompagnée ou non de ferro-nickel voisin de Ni_2Fe et parfois d'un peu de FeS ; ces sphérules sont contemporaines de la cristallisation des silicates. Les grains opaques, à contour plus ou moins lobé, situés à la périphérie, sont souvent beaucoup plus grands (jusqu'à 100 μm) et les sulfures, troïlite et/ou pentlandite à 16-21 % Ni 1 % Co, y dominent. Des plans de clivages dans les silicates et des fissures sont aussi remplis de sulfures. La magnétite, lorsqu'elle est présente, est chromifère (3 % Cr_2O_3 par exemple dans la sphérule figure 6, pl. II) ; il y a peu de ferro-nickel. Plusieurs de ces grains opaques sont en réalité des mini-géodes de sulfure (pl. III, 1). Des résidus de gouttes métalliques ou des remplissages de bulles de roches scoriacées sont maintenant formées seulement de sulfure et de silicate riche en fer et ne se repèrent plus que par leur contour annelé (pl. II, 7) ; cette modification des gouttes métalliques pourrait être contemporaine de l'altération ferreuse des silicates.

Certains chondres sont encerclés par des concentrations sulfurées qui peuvent contenir des amas à structure et chimie complexe où l'analyse qualitative au microscope électronique à balayage décèle en plus de S, Fe, Ni un peu de Si, Mg et des traces de Cr, Ca parfois Ti, Zn. Des chondres à dominante sulfurée existent (CHRISTOPHE *et al.*, 1977). Ils ont une structure microcristalline complexe, contiennent de petits grains silicatés dans une masse de sulfure de fer, nickel et chrome. Des grains de phosphate de calcium se trouvent dans leur couronne. WLOTZKA (1976) trouve dans un chondre sulfuré à la fois des phosphates de Na, Fe, Mg et la whitlockite $Ca_3(PO_4)_2$ (merrilite).

Le soufre a donc été extrêmement mobile dans Allende, et on peut trouver des exemples de cristallisation simultanée avec les silicates dans des chondres, de dépôt de sulfures, ou au contraire de désulfuration, de cristallisation tardive (troïlite englobant des fuseaux d'olivine dans la matrice figure 4, pl. III) liés à des modifications de l'environnement gazeux et de son potentiel redox.

Léoville

Quelques grains opaques situés au cœur de chondres ou isolés, atteignant 0,8 mm, sont formés de kamacite et de taenite claire associée à un peu de troïlite. La déformation générale qui affecte les chondres se traduit par un étirement du métal. La kamacite polycristalline contient 6-7 % Ni ; elle peut présenter des bandes de Neumann ; la taenite est riche en nickel : 37-42 % à 50-54 % Ni ; elle est polycristalline (pl. III, 6). Des traces de chrome sont parfois présentes ou de très fines chromites (< 5 μm) dispersées aussi bien dans la kamacite que dans la taenite. Du phosphate de calcium peut former de fines gouttelettes

dans le métal ou se concentrer au bord avec la troïlite (pl. III, 7). Les chondres métalliques peuvent englober une goutte ou une larme silicatée (pl. III, 5, 6). Des grains opaques plus petits se trouvent à la périphérie des chondres ou uniformément répartis dans certains d'entre eux. Il s'agit le plus souvent de kamacite et troïlite associées, mais on peut trouver de la magnétite et de la taenite claire.

Le sulfure semble appartenir clairement à une phase fondue conjointement aux silicates et au métal. On n'en trouve pas en anneaux extérieurs aux chondres et on en dose peu dans la matrice où la magnétite et le métal en grains très fins soulignent la stratification.

D'après les données de la littérature, pour une même teneur globale de 2,05 % S, Allende en contiendrait 1,13 % dans la matrice et Léoville seulement 0,15 %.

Ainsi, dans Léoville, les phénomènes d'immiscibilité silicates-phases Fe-Ni-S-O et de démixion de ces phases entre elles apparaissent nettement alors qu'ils sont plus ou moins masqués dans Allende par une mobilisation du soufre (observations en accord avec celles de McMahon et Haggerty, 1980).

Les chondres magnésiens à gouttes opaques sont caractéristiques des chondrites carbonées C2 et C3 où ils constituent plus de la moitié du matériel non matriciel, jusqu'à 80 % dans Léoville ; dans les C2, une hydratation partielle ou complète des minéraux opaques donne naissance à des phases mal cristallisées remplaçant les associations sulfures-oxyde-métal.

Composition chimique

Il est difficile d'obtenir des analyses précises. La masse des inclusions prises individuellement est de l'ordre du mg. Les analyses ont été effectuées sur des inclusions ou chondres multiples ou isolés, sur sections polies ou après séparation, en utilisant les diverses méthodes disponibles, et seulement dans le cas d'Allende. Des différentes données de la littérature (Clarke *et al.*, 1970 ; Osborn *et al.*, 1974 ; Graham, 1975, Simon et Haggerty, 1980), il résulte que, par rapport aux chondres des chondrites non équilibrées (Gooding *et al.*, 1980), les inclusions magnésiennes d'Allende sont plus magnésiennes (34-39 % MgO contre 26-29 %), plus alumineuses (5,5 % Al_2O_3 contre 2-3 %), plus calciques (4 % CaO contre 1,6-2,4 %) et moins ferreuses. Un concentré de tamisage analysé par Clarke *et al.* (1970) semble représentatif :

SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Cr_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	FeS	NiS
41,87	0,26	5,57	0,47	9,44	0,14	34,34	4,06	0,82	0,06	0,11	1,78	0,87

La concentration des Terres Rares dans ce matériau est environ 1,8 fois celle trouvée dans l'analyse globale (Osborn *et al.*, 1974) donc multipliée par un même facteur que les concentrations en aluminium et en calcium.

Malgré les ressemblances, on voit que les inclusions magnésiennes ne sont pas dans leur majorité identiques à leurs homologues des chondrites ordinaires non équilibrées tant par leur composition chimique que par leur texture.

B — Prédominance de silicates alumino-calciques

Les inclusions alumino-calciques tranchent par leur couleur claire sur les pierres sombres. Souvent de grandes dimensions, pouvant dépasser le centimètre, elles sont, contrairement aux précédentes, presque complètement dépourvues de ferro-nickel, mais on y rencontre des quantités exceptionnelles de métaux rares. Presque toutes *les inclusions grenues* que nous avons observées contiennent des cristaux cassés ou déformés. Les fissures créées ont permis dans le cas d'Allende des circulations gazeuses provoquant altération et cristallisation secondaires. Ces inclusions sont entourées d'une bordure rubanée caractéristique.

Les *inclusions basaltiques* ne sont pas bordées ; elles ne sont pas non plus choquées et semblent avoir cristallisé à partir de gouttes fondues.

Nous allons passer en revue les minéraux constituants avant de décrire les différentes inclusions.

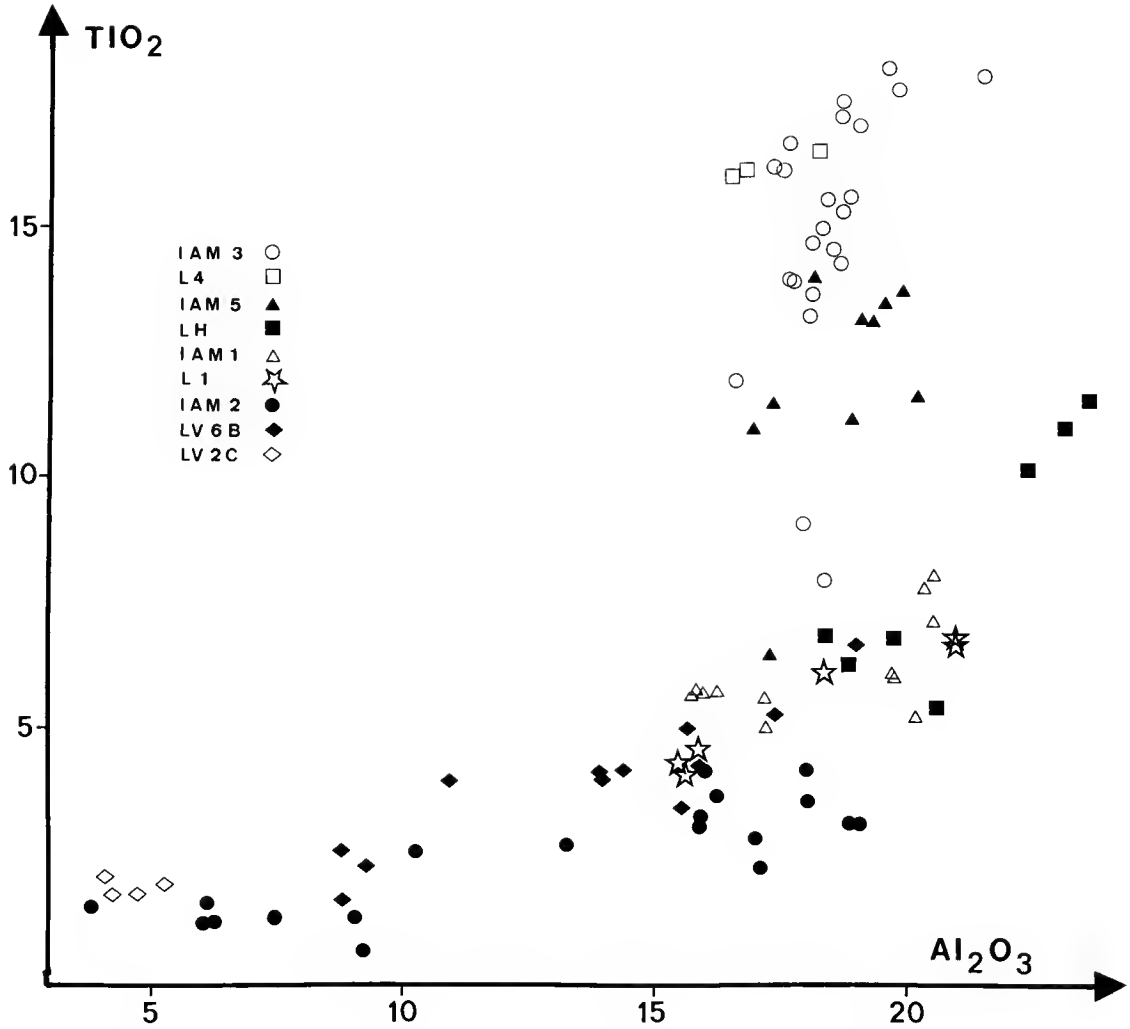
Les minéraux

1. Silicates

Les *mélilites*, minéraux prépondérants, sont des solutions solides des termes gehlenite $Ca_2Al_2SiO_7$ et akermanite $Ca_2MgSi_2O_7$ sans Na_2O ; des teneurs mineures en TiO_2 (jusqu'à 0,19 % dans L2) peuvent exister. Des variations de composition se reproduisent dans un même cristal en plages irrégulières ou en zones. Le zonage peut être normal, inversé ou complexe (MacPherson *et al.*, 1984). En dehors du fait que la mélilite englobe poecilitiquement d'autres minéraux, elle peut contenir une poussière d'inclusions micrométriques mal définies du fait de leur taille, mais probablement de perovskite, d'aluminate de calcium, de pyroxènes. Dans Allende, la mélilite s'altère le long de fissures et suivant une bordure plus ou moins large tout autour des inclusions, surtout dans celles qui sont pauvres en pyroxène. Beaucoup trop fins pour une détermination chimique ou optique des phases, ces produits d'altération ont été identifiés par rayons X sur prélèvement de fragments de plaque mince. On trouve surtout du *grossulaire* $Ca_3Al_2Si_3O_{12}$, ce qui nécessite un enrichissement en silice ; Allen *et al.*, (1978) signalent aussi dans les produits d'altération la présence de *néphéline* $NaAlSiO_4$ et de *sodalite* $Na_8Cl_2(AlSiO_4)_6$ correspondant à un apport de sodium et de chlore mais ces minéraux existent en petite quantité également comme phases primaires. Certaines cavités dans la mélilite, bordées de *diopside* $CaMgSi_2O_6$, contiennent des cristaux de grossulaire et de longues aiguilles de *wollastonite* $CaSiO_3$ (pl. IV, 1).

Wlotzka et Wark (1982) ont découvert une zéolite potassique altérant la mélilite de Léoville, mais il s'agit vraisemblablement d'un produit d'altération terrestre.

Les *pyroxènes* : Les teneurs très élevées en Al et Ti du pyroxène vert-bleuté analysé pour la première fois dans une inclusion réfractaire de Vigarano (Christophe *et al.*, 1970) sont spécifiques de ces matériaux. B. Mason (1974) définit un domaine de composition relativement restreint pour l'alumine (16 à 22 %) et un domaine plus large pour le titane (3,9 à 17,7 % TiO_2) coupé en deux par l'absence de cristaux contenant 12 à 15 % TiO_2. Nos analy-



ses réalisées sur plusieurs inclusions permettent d'étendre le domaine de l'alumine (3 à 24 % Al_2O_3) et d'unifier celui du titane, dans ces pyroxènes non ferreux très particuliers, du domaine des fassaites (fig. ci-dessus).

Dans les inclusions IAM 1, 3 et 5, les variations de composition dans un même cristal montrent qu'il s'agit de cristaux cassés (comme le suggère leur morphologie) où le zonage ne correspond pas avec les limites actuelles des minéraux. Les relations de composition pyroxène-mélilite font apparaître une correspondance entre les pyroxènes les plus titanifères et alumineux et les mélilites les plus réfractaires, comme déjà signalé (Mason, 1974). Certains auteurs, par exemple Fuchs (1978), ont trouvé, accompagnant rarement le pyroxène titanifère, de la *rhönite* $Ca_4(Mg,Al,Ti)_{12}(Si,Al)_{12}O_{40}$; nous n'en avons pas rencontré dans nos échantillons. L'*anorthite* $CaAl_2Si_2O_8$ contient à peine de sodium (< 0,1 % Na_2O en

général). Elle semble avoir cristallisé soit après la mélilite en phase interstitielle, soit en même temps que les phases majeures, par exemple dans IAMl où elle atteint 20 % du volume de l'inclusion, soit avant le pyroxène dans les inclusions basaltiques où elle forme des lattes automorphes, un peu plus sodique jusqu'à 0,32 % Na_2O. Elle contient moins de 0,15 % MgO et des traces de K, Ba ; la répartition en zones ou en taches des éléments en trace n'est visible que par des images obtenues au microanalyseur ionique (LORIN *et al.*, 1981) ou par cathodoluminescence (HUTCHEON *et al.*, 1978).

L'*olivine* se rencontre dans de rares inclusions. Il s'agit alors de forstérite Mg_2SiO_4 à teneur élevée en CaO (DOMINIK *et al.*, 1978 ; CLAYTON *et al.*, 1984).

2. Oxydes

Les *spinelles* sont présents presque partout, soit en cristaux de 50 à 100 µm plus ou moins irréguliers, groupés en amas, soit en « framboïdes », chaînettes, palissades, de cristaux de 10 à 20 µm (pl. IV, 8), soit dispersés de façon plus ou moins dense, poecilitiquement englobés par le pyroxène, la mélilite ou l'anorthite. Les cristaux sont souvent à angles vifs dans le pyroxène alors que les angles sont arrondis dans les autres phases, signifiant peut-être un début de résorption (pl. IV, 6). Ils peuvent contenir ou être recouverts d'une multitude de perovskites très fines (de l'ordre du 1/10e de micron), donnant alors l'impression de s'être formés dans un milieu sursaturé en titane comme dans l'inclusion L4b pour les spinelles inclus dans le pyroxène titanifère. Dans ce cas on peut déceler une différence de composition pour le titane entre spinelle inclus dans le pyroxène où la teneur est anormalement élevée (0,96 à 1,85 % TiO_2) et inclus dans la mélilite (0,55 à 0,65 % TiO_2). Les cristaux sont d'une taille suffisante pour que le titane dosé ne soit pas influencé par celui du pyroxène adjacent. Il y a probablement eu équilibre entre spinelle et pyroxène comme l'ont noté MEEKER *et al.* (1983). Dans la plupart des inclusions, les spinelles contiennent 0,15 à 0,40 % TiO_2. La teneur en chrome quoique faible (0,10 à 0,30 % Cr_2O_3) mérite d'être notée car c'est un élément modérément volatil qu'on ne s'attend pas à rencontrer dans ces inclusions très réfractaires. En général, tous les spinelles analysés sont $MgAl_2O_4$ avec moins de 1 % Ca, Cr, Ti, V, Fe, mais toutes les inclusions sont bordées d'un ourlet comprenant entre autres une palissade de spinelles plus ferreux que ceux du cœur (jusqu'à 16 % FeO d'après WARK, 1983) et parfois plus chromifères (0,57 % Cr_2O_3 dans LH). Même lorsque l'ourlet n'est pas constitué, des spinelles près du contact avec la matrice peuvent s'enrichir en fer, par une réaction secondaire. Ainsi, l'inclusion IAM5, cassée, contient en bordure de la cassure quelques cristaux de spinelle à 11-15 % FeO alors que ceux qui s'en écartent de 50 µm n'en ont plus que 0,8 %, et au-delà FeO devient insignifiant (pl. VII, 4). Les spinelles dans les zones d'altération de la mélilite sont aussi enrichis en fer. Le spinelle au contact de la matrice dans l'inclusion cassée Léoville L4b ne contient par contre que 0,82 % FeO.

La *pérovskite* $CaTiO_3$ existe dans la plupart des inclusions en teneur faible très variable en grains roses à incolores, isolés ou en amas. Elle est toujours présente dans la bordure des inclusions (pl. VII, 1 et 5). Dans ce cas, elle peut contenir un peu de fer. Certains cristaux concentrent des éléments rares très réfractaires tels que Zr, Hf, Y, ce qui pourrait en faire un minéral-repère du type d'inclusion (KORNACKI et WOOD, 1984 ; WARK *et al.*, 1980). Dans l'inclusion d'Allende H103.133, elle contient des gouttes micrométriques de gehlenite pure alors qu'elle est incluse dans de la gehlenite ak 14 (pl IV, 3). Quand ils ne sont pas

localisés dans la pérovskite, des éléments rares lithophiles sont concentrés dans des grains micrométriques de pyrochlore $Ca_2Nb_2O_7$, thorianite $(Th,U)O_2$, badde leyite $(Zr, Ti)O_2$... (LOVERING *et al.*, 1979).

La *hibonite* (Ca, Mg) (Al, $Ti)_{12}O_{19}$ n'a été rencontrée comme une phase majeure que dans l'inclusion dénommée « HAL » (LEE et WASSERBURG, 1979). On la trouve en petits prismes polychroïques bleus ou jaunes (toujours bleus dans Léoville), associés à spinelle et pérovskite dans les inclusions pauvres en pyroxène. Elle est très fréquente quoique souvent difficile à repérer dans la bordure interne de l'ourlet à spinelle de presque toutes les inclusions (pl. VII, 1). Sous l'impact du faisceau d'électrons, elle montre une luminescence bleue, rose ou orangée mais les relations entre la composition chimique, la couleur, la teinte de luminescence ne sont pas élucidées car nous (CHRISTOPHE et KURAT, 1982) avons trouvé des résultats qui diffèrent de ceux de KEIL et FUCHS (1971). Cependant, STÖLPER et IHINGER (1983) ont montré expérimentalement l'influence des conditions d'oxydation sur la couleur.

L'*aluminate* $CaAl_4O_7$ forme des inclusions micrométriques dans la mélilite de l'inclusion L2 où il a été identifié pour la première fois (CHRISTOPHE et KURAT, 1982), et où il a tendance à se concentrer dans les régions riches en pérovskite (pl. VII, 2). Il se peut qu'il soit assez fréquent en traces, sous forme de très petits grains biréfringents dont un indice de réfraction est nettement inférieur à la mélilite encaissante, lorsque celle-ci est peu magnésienne.

3. Grains métalliques et métaux rares

Par rapport aux inclusions à silicates magnésiens riches en globules métalliques et sulfurés, la plupart des inclusions alumino-calciques contiennent à peine de ferro-nickel. Font exception l'inclusion L4b et quelques inclusions basaltiques qui, dans leur pourtour, contiennent de petites globules de NiFe et de sulfures. L'inclusion L4b qui est la plus réfractaire parmi les inclusions à pyroxène que nous avons étudiées (d'après la composition du couple mélilite-pyroxène) contient des grains de kamacite irréguliers atteignant 50 μm qui englobent de la taenite, de la schreibersite riche en nickel et qui sont bordés d'oxydes de fer à teneur notable en vanadium et chrome.

Les autres inclusions ne contiennent que des grains micrométriques de kamacite et de taenite. Certains de ceux-ci sont associés à de remarquables concentrations de métaux rares. EL GORESY *et al.* (1978) on appelé « fremdlinge » ces agrégats étranges atteignant exceptionnellement 50 μm, d'une grande complexité, où des granules riches en Os, Ir, Pt, Ru, Rh, Re voisinent avec des sulfures MoS_2, WS_2, des silicates, des phosphates, des oxydes en proportions très variées. Un agrégat géant (150 μm) dénommé « Willy » est particulièrement hétérogène (ARMSTRONG *et al.*, 1984). Ces agrégats sont en total déséquilibre chimique et allient des éléments réfractaires sidérophiles et des éléments volatils, des phases très réduites et des phases oxydées. Par contre, des grains micrométriques d'alliages des mêmes métaux nobles, mais en proportions cosmiques, se rencontrent aussi (voir par ex. BLANDER *et al.*, 1980). Ces deux types de grains découverts presque en même temps par WARK et LOVERING (1976, 1977), PALME et WLOTZKA (1976), EL GORESY *et al.* (1978) se trouvent dans des inclusions différentes dans Allende, mais non dans Léoville. Les cas les plus remarquables que nous avons observés sont les suivants :

— Allende (inclusion n° 3529-42) : De nombreux grains riches en nickel truffés de particules Os-Ir en proportions variables, avec un peu de Ru et de petites plages ou P, Ca, V sont présents, se trouvent dans une zone où le spinelle et très abondant. L'un d'entre eux est étiré entre spinelle et hibonite (pl. V, 1 et 2). Leur formation est antérieure ou au plus contemporaine de celle du spinelle, puisque plusieurs grains y sont inclus. Ailleurs, dans une zone à mélilite, on trouve des cristaux très nickelifères pleins d'inclusions d'oxydes de fer et de vanadium. Ailleurs encore, un cube platinifère d'alliage Ni-Fe associé à du sulfure de nickel a trouvé place dans une zone à grain plus fin (pl. V, 3).

— Léoville (inclusion LV 6B, également observée par A. El Goresy) : La grande variabilité de composition de sa mélilite jointe à la présence d'une fassaite peu titanifère (mais qui contient du vanadium) n'en fait probablement pas une inclusion typique. Sa texture est complexe et comporte des parties grenues, d'autres microgrenues, des lacunes, des framboïdes et des chaînettes de spinelles, comme si elle était formée de matériaux partiellement refondus. On y rencontre tous les types de grains à métaux rares : l'un à Ir seulement, l'autre à Pt seulement, un troisième à Mo, W et Zr à l'état métallique (El Goresy, *comm. pers.*). Au voisinage d'une lacune plusieurs grains scoriacés montrent du ferro-nickel enrichi en Ru, Pt, Os associés à du silicate de calcium (pl. V, 4).

— Dans l'inclusion LV6c on n'a trouvé que des grains micrométriques à métaux rares (Os, Ir, Ru, parfois Pt) inclus dans les spinelles, tandis que dans LH un amas complexe montre toutes sortes de grains métalliques dans une gangue silico-phosphatée (pl. V, 5).

La complexité des grains métalliques à métaux rares est une preuve de l'histoire compliquée qu'ont subi les éléments chimiques dès avant leur incorporation dans les inclusions réfractaires. Si certains grains ont pu être inclus tels quels, d'autres ont été modifiés (fragmentés, partiellement fondus, évaporés, recondensés, attaqués, oxydés) lorsqu'ils ont été associés aux silicates.

Les types d'inclusions

Plusieurs classifications ont été proposées par Mason (Clarke *et al.*, 1970 ; Mason et Taylor, 1982), Grossman (1975, 1980), Wark et Lovering (1977) et Kornacki et Wood (1984). Elles groupent à la fois les inclusions macro- et microcristallines que nous avons séparées ici de façon assez artificielle, en partie pour la commodité de l'exposé.

Celle de Grossman, purement minéralogique, est pratique mais trop restrictive, par les proportions de minéraux acceptés dans chaque type ; Wark et Lovering l'utilisent en l'affinant ; celle de Mason et Taylor s'appuie sur la composition chimique, surtout sur la distribution des Terres Rares et ne concerne que des inclusions assez grandes pour avoir été extraites aux fins d'analyse et de confection de plaques minces ; celle de Kornacki et Wood cherche à tenir compte de tous les objets > 0,2 mm sur plaque mince polie en s'appuyant sur des critères pétrographiques.

Nous n'introduisons aucune nouvelle systématique mais décrivons les inclusions étudiées d'après les associations des *principales* phases minérales qui reflètent leur composition chimique ; nous trouvons les associations suivantes : 1) spinelle + mélilite ; 2) spinelle + mélilite + pyroxène ; 3) spinelle + mélilite + pyroxène + anorthite ; 4) spinelle + pyroxène + anorthite.

1. Ce premier type correspond à peu près au type A de la classification proposée par GROSSMAN (1975, 1980). Il comprend des inclusions amiboïdes où spinelle, hibonite, perovskite, des traces de $CaAl_4O_7$ en proportions très variables sont inclus dans une mélilite alumineuse (Ak < 30%). Il y a très peu de pyroxène (petits grains arrondis enrobant souvent la pérovskite) mais des ourlets de diopside bordent des cavités où se développent, dans Allende, des gerbes de wollastonite accompagnées ou non de grossulaire. Dans cette météorite, ces inclusions sont presque toujours fortement altérées sur leur pourtour en produits microcristallins.

EXEMPLES

Allende : Telle est l'inclusion de l'échantillon H103.133. Elle s'est ici brisée en une centaine de débris visibles sur une même plaque mince et en beaucoup plus si l'on observe des coupes successives donnant la troisième dimension. Ces débris se sont désorientés les uns par rapport aux autres mais sont restés à proximité de la masse principale, sur une aire de 12 × 7 mm (pl. VI, 1). La mélilite y a une composition moyenne de Ak14. On y trouve des pérovskites à inclusions de gehlenite et un peu de hibonite.

On est tenté d'associer à ce type une inclusion observée dans une plaque mince d'E. A. KING (pl. VI, 2). La morphologie tourmentée et l'accumulation des débris cassés sont semblables. Les grains de pérovskite et de spinelle sont inclus dans du verre que nous n'avons pas pu analyser, la plaque étant couverte. L'intérêt de cette inclusion, comme nous le verrons plus loin, est qu'elle est ourlée d'une bordure rubanée analogue à celle des inclusions cristallines mais plus étroite : on y trouve une rangée de pérovskite sur 2 μm suivie d'une bande de spinelle sur 10 μm et d'une frange externe de pyroxène de 3 μm. Cette inclusion n'est pas altérée, non plus que celles qu'on trouve dans *Léoville*.

Nous en avons étudié deux qui ne sont pas brisées mais la mélilite y est très déformée : L2 décrite en détails (1984), à cause de la présence de $CaAl_4O_7$ dont c'est le premier gisement météoritique reconnu, est riche en amas de pérovskite et en spinelle dans les mélilites Ak 0-30 et est bordée d'un ourlet de 100 à 200 μm d'épaisseur ; L4a ne contient que peu de spinelle mais possède une large bordure riche en hibonite bleue sur 200 à 400 μm (pl. VII, 1). Les mélilites, plus alumineuses au bord de l'inclusion sont Ak 6-25.

2 et 3. Ces inclusions correspondent au type B de GROSSMAN. La mélilite (Ak 10-90), le pyroxène fassaïtique, l'anorthite en proportions très variables englobent poecilitiquement le spinelle et parfois la pérovskite. WARK et LOVERING (1977) distinguent les inclusions arrondies B1 qui ont une couronne de gehlenite formant palissade entourant un noyau où se trouvent les autres minéraux, des inclusions B2 qui ne sont pas zonées. La bordure rubanée qui entoure les inclusions est mieux définie dans les A et les B1 que dans les B2. Le cœur des B1 et des B2 est formé de matériaux brisés. Dans leur article de 1982, ces auteurs affinent leurs critères de distinction (texture et minéralogie) tout en soulignant qu'il y a continuité entre la chimie des éléments majeurs des deux sous-groupes.

EXEMPLES

Allende (type 2)

— IAM5 (pl. IV, 4 ; pl. VII, 4 et 5 ; pl. XI, 6) est une inclusion de 4 mm où nous notons : 1) un cœur formé de morceaux pyroxéniques (à 12-15 % TiO_2 ; 17-20 % Al_2O_3) et de mélilite (Ak 20-49 %) chargés de spinelles euhédraux de 50-100 μm sur lesquels adhèrent des pérovskites micrométriques, et une couronne de mélilite (Ak 6-14 %) à petits spinelles arrondis ; 2) une bordure rubanée interrompue problablement par fracture ; les gros spinelles de l'inclusion situés de ce fait en contact avec la matrice sont ferrifères ; ils sont accompagnés de traces d'alumino-silicates alcalins (13 % Na_2O ; 1,7 % K_2O) dans la zone d'altération de la mélilite ; 3) quatre inclusions rondes zonées de 400 à

600 μm, dont une cassée, se trouvent à proximité, en relation génétique probable avec l'inclusion principale ; 4) d'anciennes fissures sont soulignées par des produits d'altération, mais non les fractures récentes.

— IAM3 est une inclusion centimétrique à contours assez irréguliers où les spinelles (0,20-0,40 % TiO_2 ; < 0,17 % Cr_2O_3) peu abondants, arrondis, sont fissurés comme les autres minéraux, beaucoup se disposant en files discontinues traversant ou contournant l'inclusion. Le pyroxène verdâtre (TiO_2 8-18,2 % ; Al_2O_3 16,6-21,6 %) est en fragments brisés, plus ou moins corrodés, jusqu'au bord de l'inclusion ; les cristaux de mélilite (Ak 23-41) sont très déformés et ne présentent pas de variation de composition liée à leur situation dans l'inclusion. La bordure est nette, mais avec assez peu de pérovskite quoique l'inclusion ne soit pas zonée ; d'anciennes fissures sont remplies de produits d'altération, assez abondants également au bord. Nous n'avons pas trouvé de petites inclusions associées à celle-ci, tout au moins dans le plan de coupe. Elle ne répond pas aux critères de distinction B1-B2.

Léoville (type 2)

— L4b est un morceau d'inclusion (la bordure rubanée n'est présente que d'un côté) qui a la particularité d'être à la fois très réfractaire : association de pyroxène (TiO_2 16,1-16,6 % ; Al_2O_3 16,6-18,3 %) et de mélilite alumineuse (Ak 2-28 %) et riche en globules de ferro-nickel complexes.

— L'inclusion LV6B est arrondie de 3 mm de diamètre ; elle est accompagnée de plusieurs petites inclusions accessoires. Elle contient des chaînettes et framboïdes de spinelle. Le pyroxène (à 6,8 % TiO_2, 19,1 % Al_2O_3) et la mélilite (Ak 18) dans un tel framboïde sont plus réfractaires que le pyroxène (à 1,7-5,45 % TiO_2 ; 8,8-17,4 % Al_2O_3) et la mélilite (Ak 27-87) très variables, plus ou moins lacunaires, formant la masse de l'inclusion ; celle-ci englobe des grains métalliques à métaux rares hétérogènes. La bordure n'est pas rubanée, mais large, floue, riche en spinelles.

Léoville (type 3)

— L'inclusion 3535B (Washington) est l'illustration parfaite du type B1 de Wark et Lovering avec sa forme ovale, son cœur formé de pyroxène, de mélilite, d'un peu d'anorthite choqués entouré d'une palissade de gehlenite et d'une bordure rubanée.

— L1 à contours irréguliers, contient un lambeau de matrice soumis à haute température lors de son inclusion car il renferme des gouttelettes de FeNi-FeS. Le pyroxène (TiO_2 4,4 à 6,8 %, Al_2O_3 15,4 à 21 %) est associé à des mélilites Ak 30 à Ak 50 et à de l'anorthite (Lorin et Havette, 1985). La bordure est réduite et soulignée par une rangée de spinelles. Par contre, LH qui contient également des lambeaux de matrice, développe à leur contact une large bordure riche en hibonite bleue présente également tout autour de l'inclusion. Le spinelle est réparti de façon assez irrégulière : il semble possible ici de distinguer les régions à spinelle, où le pyroxène (TiO_2 5,6 à 11,7 % ; Al_2O_3 19,8 à 23,8 %) très alumineux, est associé à des mélilites (Ak 12-30) et à de l'anorthite, d'une région dépourvue de spinelle où le pyroxène (TiO_2 6,4-7 % ; A_2O_3 18,5-18,9 %) est associé à une mélilite (Ak 70) et à de l'anorthite. Remarquons que cette mélilite est proche de celle (Ak 72) qui cristallise à la température minimum de 1385°C au liquidus pour des bains de mélilites pures.

Comme type 3 dans *Allende*, nous avons étudié l'inclusion centimétrique IAM1 qui est sphérique mais qui contient une cavité oblongue, remplie de matrice, correspondant avec l'extérieur par un col étroit. La bordure riche en spinelle et en pérovskite cerne toute l'inclusion ainsi que les bords de la cavité autour de laquelle elle est plus large.

Dans l'inclusion, les minéraux sont brisés, le pyroxène à macles polysynthétiques de choc (TiO_2 5,2-8,2 % ; Al_2O_3 15,8-20,6 %) est associé à des mélilites (Ak 28-56) et à l'anorthite maclée ; on trouve plusieurs petits grains à sulfures + FeNi + oxyde dans le pyroxène surtout ; nous n'avons pas vu de hibonite.

Par contre, ce minéral est très abondant dans l'inclusion très cataclasée 3529-42, où il donne un aspect porcelainé à des partie de l'inclusion (pl. IV, 9) et où il se développe également le long de fissures ; mais cette inclusion est extrêmement hétérogène : dans la partie taillée en plaque mince, on trouve une région où le spinelle et la hibonite automorphes sont très abondants dans anorthite et pyroxène (avec grains à Os, Ir), une autre à mélilite pure (Ak 1-4) qui présente une très large bordure

rubanée au contact de la matrice, des débris porcelainés à hibonite prédominante au voisinage de produits fins ressemblant à la matrice et de composition chimique hybride. La composition chimique de cette inclusion (MASON et TAYLOR, 1982, groupe III pour les Terres Rares, avec 51 % Al_2O_3, 18 % SiO_2) est effectivement nettement différente de la moyenne des analyses des types 2 et 3, de même que l'inclusion 3643 étudiée par WARK (1980) à noyau très riche en hibonite, mais dépourvue de pyroxène.

4. Les inclusions à spinelle, pyroxène et anorthite que nous avons étudiées diffèrent notablement des précédentes : à contour arrondi elles ne sont pas cataclasées, leur texture est basaltique, elles ne présentent pas de bordure rubanée ou enrichie en spinelles quoique la zone externe se distingue quand même : grain plus fin, composition du pyroxène plus diopsidique, présence de globules métalliques et/ou sulfurés (pl. IV, 8 ; pl. VI, 3). Nous en avons rencontré aussi bien dans Allende (IAM2 et plaque mince King) que dans Léoville. Le pyroxène, cristallisé postérieurement à l'anorthite, est notablement moins riche en titane et en alumine que dans les types 2 et 3 (TiO_2 1,6-4 % ; Al_2O_3 3-19 % dans IAM2, TiO_2 0,6-3 %, Al_2O_3 1-4 % dans LV2C). À ce type, nous pouvons rattacher le type « I » pour « intermédiaire » de GROSSMAN (1975) représenté par son inclusion TS26F1 (50 % an., 30 % pyrox. alumineux mais peu titanifère, 20 % spinelle) ; rebaptisé « C » par WARK, il comprend des inclusions à 50 % d'anorthite mais contenant aussi de la mélilite et correspond à des textures variées, avec un ordre de cristallisation différent puisque l'anorthite, formée en premier dans nos inclusions, est la dernière phase à cristalliser dans celles de WARK. Cela est peut-être dû à la vitesse de refroidissement plus grande de ses inclusions comme il le suggère (WARK, 1984).

Nous avons observé neuf inclusions de type B ; nous disposons d'analyses de minéraux pour six d'entre elles. Sur ces six, trois appartiennent au type B1 (avec réserve pour IAM1, à cause de ses grains métalliques), les trois autres ne peuvent être classées suivant les critères définis par WARK (1983).

Inclusions à forstérite : Nous n'avons pas rencontré d'inclusion à forstérite, spinelle, fassaïte. Celles-ci sont rares ; on en connaissait cinq : les inclusions 9/16 de BLANDER *et al.* (1975), AL6S3 de CLAYTON *et al.* (1977), Alvin de MACPHERSON, TE de DOMINIK *et al.* (1978) et GG 14 de CLAYTON *et al.* (1984) où de petits grains de spinelle et de forstérite (avec > 1 % CaO) sont inclus dans des fassaïtes relativement peu titanifères (2-6 % TiO_2) quoique riche en alumine (10-21 %) ; quand la mélilite est présente, elle est riche en magnésium. Ces inclusions ne présentent pas de bordure rubanée, de même que celles à spinelle, forstérite, anorthite (chondre b de CLARKE *et al.*, 1970). WARK *et al.* (1985) en décrivent deux nouvelles et d'après leur composition chimique, pensent que l'ensemble de ces sept inclusions (classées B3) forment un continuum avec les B1 et B2.

LES BORDURES DES INCLUSIONS RÉFRACTAIRES

Toutes les inclusions à mélilite sont entourées d'une bordure rubanée caractéristique. WARK et LOVERING (1977) ont trouvé des différences systématiques suivant les types d'inclusions et ont considéré la composition de chaque bande comme résultant du milieu chimique où se trouvaient les inclusions à un moment donné. Ils en déduisaient que la nébuleuse où flottaient les inclusions avait une composition hétérogène.

MacPherson *et al.* (1982) préfèrent distinguer les bordures bien développées de celles qui le sont moins, surtout après avoir observé les deux types sur la même inclusion, mais ces deux types ne sont pas identiques à ceux de Wark et Lovering. Ils lient la formation de la bordure rubanée à un processus d'altération.

Étant données les conséquences importantes susceptibles d'être déduites de l'existence de ces bordures, il vaut la peine de les observer attentivement chaque fois qu'elles se présentent.

Remarquons tout d'abord, d'une part, que la distinction entre bordure des différents types ne paraît pas justifiée, d'autre part, qu'il n'y a pas de relation directe avec le processus d'altération : nous avons des bordures parfaitement développées dans Léoville où les inclusions ne sont pas altérées. Mais il est vrai que dans Allende l'altération, qui est postérieure à l'établissement d'une partie de la bordure, la modifie partiellement, d'où l'intérêt de comparer les bordures non altérées des inclusions de Léoville aux bordures altérées des inclusions d'Allende.

Au bord de la plupart des inclusions de *Léoville* on rencontre : 1) une concentration de spinelles accompagnée de pérovskite, doublée 2) d'un ruban étroit de pyroxène ; 3) au contact de la matrice, une frange d'épaisseur variable est composée surtout d'olivine.

Les variantes sont :

— présence de hibonite, mêlée à la mélilite, à l'intérieur de la couche (1) ou passant progressivement à celle-ci (L2, L4a par exemple, pl. VII, 1) ;

— présence d'une couche lacunaire à anorthite, spinelle entre (1) et (2) (3535b) (pl. VII, 3) ;

— absence de (2) et (3) (L1).

Comme nous l'avons vu p. 98, la spinelle dans (1) contient un peu de FeO (et parfois de Cr_2O_3) de même que le pyroxène dans (2) et l'olivine dans (3). Une inclusion cassée comme L4b porte la bordure rubanée d'un côté, mais un spinelle primaire au contact de la matrice de l'autre côté contient 0,82 % FeO, montrant que la migration du fer peut être postérieure à la cristallisation du spinelle.

Des morceaux de bordure avec beaux développements de hibonite, auxquels adhère un peu de matrice, se trouvent parfois à l'intérieur de l'inclusion ainsi que des fragments de matrice dépourvus de bordure ; ces fragments contiennent des globules NiFe ou NiFe + FeS micrométriques montrant qu'ils ont été portés au-dessus de 1000°C et refroidis rapidement. Le refroidissement rapide explique l'absence de diffusion chimique au contact de milieux si différents lors d'un phénomène thermique de courte durée ; cependant, le milieu matriciel et les inclusions se sont trouvés contigus dès l'époque de formation des bordures, d'après l'enrichissement en fer des spinelles du contact et la cristallisation de la couche (3) dont la composition est intermédiaire entre celle des inclusions et celle de la matrice, pour plusieurs éléments, notamment Mg et Fe.

Les inclusions d'*Allende* présentent les mêmes bandes (1) et (2). Notons que dans IAM1, la bande (1) est plus large au bord de la poche à matrice qu'à la périphérie ; cette poche interne a refroidi plus lentement que la surface. L'éventualité d'une relation entre la largeur de la bordure et le temps de refroidissement est confortée par l'observation de l'inclusion vitreuse (pl. VI, 2). Le fait que cette inclusion vitreuse ait acquis une bordure très étroite (15 μm) sans hibonite tend à prouver que la formation de la bordure peut précéder la cristallisation de la masse de l'inclusion, et que son développement ultérieur dépend

de la vitesse de cristallisation, donc de refroidissement de l'inclusion et probablement aussi de la température initiale commandant la viscosité donc les migrations chimiques (évaporation différentielle à la surface, groupement en chaînette des premiers cristaux de spinelle, etc.). Les cristaux d'hibonite poussent souvent en gerbes à croissance centripète à partir de la couche à spinelle, précédant la cristallisation de la gehlenite.

Les inclusions qui ont subi une fusion au moins partielle posséderaient une bordure, bordure qui serait mal définie en l'absence de fusion notable (type B2).

À l'intérieur de la bande (1), la mélilite est altérée sur une épaisseur variable, avec adjonction d'éléments volatils ; la couche lacunaire entre les bandes (1) et (2) contient aussi des minéraux riches en éléments volatils : néphéline, sodalite à côté d'anorthite, forstérite... la couche (3) montre un développement très irrégulier, parfois stratifiée d'après MacPherson *et al.* (1985),de minéraux à la fois calciques et ferrifères : andradite et hédenbergite ; on trouve aussi olivine et néphéline.

Pour nous, il s'agit de matériel hybride comme pour Léoville mais où l'apport d'éléments chimiques propres à l'inclusion est plus important que dans Léoville car l'altération de la mélilite dépendant probablement de l'abondance des volatils, la décomposition de la mélilite a libéré notamment du calcium. L'abondance des minéraux de la couche (3) semble être fonction soit de l'intensité de l'altération de l'inclusion, soit du temps de séjour à chaud au contact du matériel matriciel, soit des deux.

Cette couche ferait partie de ce que MacPherson et Grossman (1981) désignaient sous le nom de bordure clastique et préfèrent appeler maintenant « accrétionnaire » (MacPherson *et al.*, 1985).

L'étude des bordures d'Allende et de Léoville nous renseigne donc sur l'histoire des inclusions lorsqu'elles subissent un évènement de haute température amenant leur fusion partielle. Cette fusion s'accompagne de la formation d'une bordure rubanée, la plasticité est telle que se forment des replis avec inclusion de bordures déjà constituées, des boursouflures, des pédoncules. Ces bordures pourraient aussi s'expliquer à l'examen du diagramme du liquidus du système CaO-MgO-Al_2O_3-SiO_2 saturé en spinelle (Stolper, 1982) où l'on voit que spinelle + hibonite et spinelle + clinopyroxène peuvent cristalliser avant la mélilite si une évaporation partielle (Kurat *in* Christophe *et al.*, 1982) modifiait la composition chimique à la surface de l'inclusion. Le refroidissement de l'inclusion serait accompagné de l'accrétion autour d'elle de matériel matriciel plus (Allende) ou moins (Léoville) chargé de volatils. L'action des volatils dans Allende intensifierait les réactions mutuelles.

Des fracturations, à chaud, provoqueraient des inclusions de matrice, mais plus de réactions chimiques importantes (dans Léoville). Suivrait un refroidissement suffisamment rapide pour que le métal reste en gouttelettes (Léoville).

Composition chimique

On rencontre les mêmes difficultés analytiques que pour les inclusions magnésiennes, mais on dispose de masses plus importantes à cause de la dimension presque centimétrique des inclusions, ce qui permet de coupler analyses et observations de plaque mince, mais le zonage des inclusions, leur degré d'altération, le fait qu'on analyse des prélèvements faits sans souci d'homogénéisation compliquent l'interprétation des résultats.

PALME et WLOTZKA (1979) trouvent dix fois moins de Fe, Na, Cl, Br dans une inclusion de Léoville que dans celle d'Allende, car elle n'a pas été modifiée par des éléments volatils ; par contre, elle contient du potassium dû probablement en partie à la contamination terrestre puisque Léoville a longtemps séjourné dans le sol. Les données concernant Léoville sont rares à côté des nombreuses analyses publiées sur les inclusions d'Allende.

Pour les éléments majeurs cependant, puisque l'on connaît les analogies de composition chimique des minéraux, il n'y a pas lieu de penser qu'il y ait des différences notables ; il y a d'ailleurs une large fourchette de composition dans chaque groupe et on ne remarque pas de hiatus entre les groupes. L'altération de la mélilite introduit une modification chimique des inclusions qui en contiennent dans Allende et modifie la composition primaire qui serait moins siliceuse et plus calcique. Les inclusions basaltiques représentées par TS26F1 de GROSSMAN sont donc probablement les plus siliceuses et les moins calciques de la série.

	1	2 + 3		4
	A	B	C	TS26F1
SiO_2	19-31	25-35	22-39	37,9
Al_2O_3	30-42	25-34	26-46	33
MgO	1,5-9	9-16	4-13	8
CaO	23-36	24-32	18-25	19,8

Ce sont ces compositions chimiques riches en calcium et en aluminium, avec une concentration relativement élevée en titane (1 à 2 % TiO_2) qui correspondent à celles obtenues par le calcul pour des assemblages de condensats de haute température à partir d'un gaz de composition solaire avant que les majeures parties du magnésium, du silicium et du fer se condensent à leur tour, qui ont particulièrement intrigué les chercheurs. Elles sont aussi compatibles avec l'idée que ces inclusions réfractaires seraient au contraire le résidu de la volatilisation incomplète de matériaux semblables aux chondrites C1 (KURAT 1970 ; CHOU *et al.*, 1976).

Les éléments-traces

Les concentrations des éléments-traces confirment la surabondance aussi bien des platinoïdes (présents sous forme d'alliages ; et de grains métalliques complexes, voir p. 101) que des éléments réfractaires lithophiles (Zr, Hf, Y, Sc et Terres Rares) dans la proportion de quinze à vingt fois leur concentration dans les chondrites C1, quand on considère un ensemble d'inclusions : 73 inclusions d'Allende analysées signalées par GROSSMAN (1980). Pour les inclusions prises individuellement, ces proportions peuvent se retrouver ou des différences s'établir et il peut y avoir une concentration X 30 de platinoïdes accompagnant une concentration X 10 de Terres Rares comme dans 3529-42, ou au contraire une concentration X 15 de platinoïdes atteignant X 40 pour les Terres Rares comme dans l'inclusion de Léoville analysée par PALME et WLOTZKA (1979). Toutes les Terres Rares ne sont pas concentrées dans les mêmes proportions : il y a des « anomalies » comme des concentrations plus fortes (ou moindres) en europium et en ytterbium, ou une distribution très fractionnée pour toute une série d'inclusions (surtout microcristallines) qui ont servi de base à la classification proposée par MASON et TAYLOR (1978, 1982). BOYNTON et WARK (1984) ont analysé la bordure

d'une inclusion riche en mélilite qui contient cinq fois plus de Terres Rares à l'exclusion des plus volatiles (Eu et Yb) que le cœur de l'inclusion.

Les concentrations des Terres Rares dans la mélilite et le pyroxène associés dans une même inclusion (MARTIN et MASON, 1974) montrent une complémentarité qui ne peut guère s'expliquer que par une redistribution après fusion. Toutefois, PALME et WLOTZKA (1979) distinguent dans l'inclusion de Léoville Le01 deux sortes de mélilite et d'anorthite l'une, « sale », à poussières de spinelles, platinoïdes, pyroxènes ; l'autre, « propre », ayant une concentration de Terres Rares moindre, et une anomalie d'europium plus forte que la « sale » et qui aurait nettement refondu, tandis que les autres minéraux (mélilite « sale », pyroxène, spinelles) ne se seraient rééquilibrés que partiellement au subsolidus.

Les données chimiques recueillies montrent la complexité des processus impliqués, complexité soupçonnée lors des observations minéralogiques et pétrologiques, et qui sera encore accrue par les résultats isotopiques.

Il n'est pas étonnant qu'on éprouve de grosses difficultés à décrypter la succession des évènements et que chaque inclusion conserve une signature de son histoire individuelle, tout en possédant des caractéristiques communes avec d'autres, provenant du même stock initial.

C — INCLUSIONS À COMPOSITION INTERMÉDIAIRE ET INCLUSIONS HYBRIDES

La composition plus magnésienne des inclusions à forstérite (p. 103) les rapproche d'inclusions à caractère intermédiaire comme par exemple le sphéroïde AL13-6 décrit par HAGGERTY (1977) à anorthite, spinelle, fassaïte, olivine mais aussi à oxyde de fer et titane, puisqu'il contient de l'armalcolite et un nouveau titanate et qu'il est bordé de sulfures, métal et pyroxènes ou encore de l'inclusion à cordiérite découverte par FUCHS (1969), avec spinelle, anorthite, enstatite alumineuse, bordée de pentlandite. Citons aussi le chondre à olivine (Fa 26), sodalite, néphéline, diopside n° 3509 de MASON et TAYLOR (1982). Dans cette catégorie, nous pouvons classer aussi plusieurs chondres à barres d'olivine parsemés de petits spinelles. L'analyse des minéraux de l'un d'entre eux montre que le spinelle est ferreux et chromifère (13 à 19 % MgO, 18 à 24 % FeO, 7 à 17 % Cr_2O_3, 52 à 61 % Al_2O_3, 0,07 à 0,14 % V_2O_3, 0,12 à 0,27 TiO_2). Les barres d'olivine ont Fa11 à Fa40 ; le verre entre les barres est dévitrifié en plagioclase et diopside.

À côté de ces chondres homogènes à compositions intermédiaire, il existe des fragments hybrides où sont associés par exemple une partie aluminocalcique à anorthite fine, et une autre à olivine porphyrique analogue à l'association signalée par NELEN *et al.* (1975) dans la chondrite carbonée Coolidge, ou encore comme les exemples figurant pl. VI (fig. 4 à 7) ; les cristaux de forstérite à luminescence bleue inclus dans une écorce d'olivine ferreuse décrits par STEELE *et al.* (1985) peuvent probablement aussi être considérés comme des grains mixtes. Lorsque la composition intermédiaire est plus homogène, on peut penser qu'il y a eu soit fusion totale entre les grains entrechoqués, soit séparation d'un liquide ou d'un verre de composition correspondante, soit encore, pour les tenants de la condensation, capture de grains réfractaires par des condensats de plus basse température, idée développée par GROSSMAN (1977) pour des agrégats microcristallins, autres matériaux à composition hybride, que nous étudierons plus loin.

Remarquons que ces inclusions mixtes n'ont été rencontrées que dans Allende, non dans Léoville ; est-ce à cause de l'abondance du matériel disponible et des observations réa-

lisées, ou cela correspond-il à une différence réelle entre les deux météorites ? C'est aussi dans Allende que se rencontrent quelques inclusions échappant à toute classification par leur composition, unique telle l'inclusion « HAL » (GROSSMAN *et al.*, 1980) formée de trois grands cristaux de hibonite très proche de la composition idéale $CaAl_{12}O_{19}$ inclus dans un produit noir d'aspect vitreux riche en oxydes Al-Fe et entourés d'une auréole stratifiée.

II. LES INCLUSIONS MICROCRISTALLINES

On trouve les inclusions microcristallines en amas irréguliers, nuageux, effilochés, parfois aplatis ou étirés plus ou moins parallèlement, donnant alors un aspect stratifié aux échantillons (pl. I). La dimension micrométrique des cristaux, la présence de plusieurs phases minérales associées rendent difficile leur détermination. On a utilisé tour à tour ou conjointement les diagrammes de rayons X, les analyses chimiques globales ou par microsonde défocalisée, les analyses qualitatives au microscope électronique à balayage.

Certaines se trouvent dans le voisinage immédiat des inclusions macrocristallines alumino-calciques, ce qui, joint à des similitudes minéralogiques avec les bordures de ces inclusions, suggère des relations génétiques.

La distinction entre inclusions macro- et microcristallines peut sembler artificielle pour les inclusions alumino-calciques tandis que la morphologie des inclusions où domine l'olivine diffère de celle des chondres et fragments rocheux.

A — LES INCLUSIONS À OLIVINE

GROSSMAN et STEELE (1976) puis GROSSMAN *et al.* (1979) ont consacré une étude détaillée à ces agrégats amiboïdes dans Allende et ont remarqué que l'olivine y a une teneur en fer variée (Fo 64 à Fo 99), qu'on y trouve aussi de petits grains de spinelle à FeO/MgO varié et parfois un peu de pérovskite ; pyroxène, anorthite, néphéline et sodalite peuvent être présents.

Ces compositions hétérogènes jointes à la texture assez lâche des amas sont les arguments principaux en faveur de l'agrégation de cristaux d'abord dispersés.

WARK (1978) insiste sur le déséquilibre des phases juxtaposées comme preuve d'une condensation rapide. Il distingue les agrégats à olivine dont la composition chimique est la même que celle des chondres des agrégats à olivine et alcalins qui ont une composition intermédiaire entre agrégats à olivine et agrégats alumino-calciques. En fait, deux des neuf agrégats étudiés par GROSSMAN *et al.* (1979) correspondent à ce deuxième groupe et l'examen de plaques minces montre qu'il n'y a probablement pas de coupure entre eux (exemple des agrégats décrits par HASHIMOTO et GROSSMAN (1984). Pour KORNACKI (1983), ce sont des xénolithes alumino-calciques. Dans Léoville, nous avons trouvé des inclusions à olivine compactes, la dimension des olivines est souvent homogène dans une même inclusion, de moins de 1 μm (aspect de verre dévitrifié) à quelques μm mais on trouve aussi comme dans Allende des inclusions où l'olivine forme une palissade de cristaux plus grands en bordure. Les olivines analysées dans une inclusion sont très forstéritiques (Fo 98) et accompagnées

d'un peu d'anorthite. Dans une autre à texture mosaïque les teneurs en fer sont plus variées suivant les zones. La présence au même endroit de plusieurs petites inclusions semblables s'explique vraisemblablement par le fait que la section coupe les diverticules d'un même individu très digité (pl. VIII, 1).

Dans Allende, il semble que l'aspect en agrégat de boulettes (pl. VIII, 2) soit d'autant plus marqué que la teneur en phases autres que l'olivine est plus importante. Par conséquent, les phases seraient présentes initialement mais l'aspect fragile de l'ensemble peut résulter d'altérations secondaires semblables à celles qui affectent les chondres, ce qui expliquerait aussi les teneurs variables en FeO des minéraux. Plutôt que l'agrégation de cristaux dispersés, l'observation comparative de Léoville et d'Allende permet d'interpréter ces inclusions comme des sortes de scories vitreuses qui ont été assez fluides (d'autant plus que plus alcalines), qui ont été dévitrifiées, puis plus ou moins altérées.

Les analyses chimiques des éléments-traces — notamment des Terres Rares — semblent confirmer qu'il s'agit soit de matériel analogue aux chondres (Mason et Martin, 1977, ne séparaient pas dans leur groupe IV ce qui est macro- de ce qui est microcristallin), soit de mélanges se rapprochant des inclusions alumino-calciques.

B — Les inclusions alumino-calciques

Malgré des ressemblances, leur variété est grande, d'où les difficultés de classement. MacPherson et Grossman (1982) étudiant sept inclusions à spinelle notent qu'il n'y en a pas deux identiques. La *classification chimique* de Mason (Mason et Martin, 1977) met en évidence des tendances à différenciations chimiques intéressantes mais ne peut s'appliquer qu'à des échantillons de plusieurs millimètres. Kornacki (*in* Kornacki et Wood, 1984) établit une *classification pétrologique* et *minéralogique* qu'il compare à celles de Grosman *et al.* (1975) et de Wark et Lovering, comprenant des inclusions aussi petites que 0,2 mm et qui tente d'éviter la coupure artificielle entre inclusions macro- et microcristallines.

Les inclusions microcristallines de *Léoville* sont pour la plupart vermiculées ou colloformes avec des appendices amiboïdes dans la matrice (pl. IX, 4 et 5), ou englobant de minces inclusions de celle-ci (pl. IX, 1 et 3) montrant d'étroites relations spatiales mais ne semblent guère avoir échangé des éléments chimiques avec elle. L'inclusion vermiculée (fig. 5) est composée essentiellement de mélilite, d'anorthite et de pyroxène très calcique (peut-être avec wollastonite) alors que l'inclusion colloforme (fig. 1) contient spinelle, anorthite, mélilite, pyroxène (avec Al et Ti) et parfois néphéline ou verre calco-sodique (fig. 2 et 6).

L'aspect vermiculé ou colloforme ne rappelle aucune cristallisation connue dans les roches terrestres. On pense à un verre très fluide dévitrifié, à cause des contorsions du rubanement,mais on ne sait rien du comportement de tels verres dans des conditions de microgravité probable où les forces de tension superficielle jouent un rôle prédominant. Remarquons une analogie avec les « bull's eye patterns » développés dans un liquide homogène à l'origine, par instabilité dynamique (I. R. Epstein, 1984).

Les minéraux sont les mêmes que dans des inclusions macrocristallines mais la cristallisation a eu lieu dans des conditions nettement différentes. Le tableau se complique encore si l'on regarde les inclusions d'*Allende* probablement à cause de la présence d'éléments volatils plus abondants ayant permis aux inclusions de poursuivre leur évolution à température plus

basse, ou ayant provoqué la formation d'un matériel plus poreux. Ainsi, elles ont pu subir les mêmes altérations que les inclusions grenues, entraînant la cristallisation de grossulaire ou d'andradite aux dépens de la mélilite, de sorte que l'absence ou la rareté actuelle de mélilite n'est pas la preuve de son absence initiale. On peut presque toujours retrouver l'aspect vermiculé ou colloforme dans des portions d'inclusions (pl. VIII, 4) ; mais, ailleurs, des cristaux automorphes se développent dans les espaces libres ou des cristaux brisés remplissent des lacunes, ce qui donne un aspect illusoire d'agrégat formé au hasard avec des grains cristallisés indépendamment (pl. VIII, 3). Le grenat calcique, non repéré dans Léoville, la sodalite (minéral chloré), la néphéline sont ici fréquents. Les teneurs en fer du spinelle, du grenat, du pyroxène sont notables ; quand une inclusion blanche comporte des régions vermiculées compactes et des zones poreuses, on remarque une concentration supérieure en fer dans ces régions poreuses.

Au point de vue chimique, la composition des inclusions microcristallines diffère peu des inclusions réfractaires macrocristallines pour les éléments majeurs quoique le rapport Al_2O_3/CaO s'écarte plus de la valeur unitaire, avec généralement excédent d'alumine, et que les éléments volatils soient plus abondants.

Mais MARTIN et MASON (1974) et MASON et TAYLOR (1982) distinguent pour les Terres Rares deux types de comportement différents : leur groupe II, le plus abondant, est caractérisé par une proportion élevée de Terres Rares légères (La-Sm) mais bien plus faible des Terres Rares lourdes, avec anomalie négative d'Eu et positive de Tm et Yb ; le groupe III comporte des inclusions grenues et microgrenues ainsi que l'inclusion hyperalumineuse 3529-42 qui a une concentration non fractionnée de Terres Rares 10 à 40 fois supérieure aux abondances chondritiques, sauf pour Eu (4 fois) et Yb (6 fois). Les concentrations en métaux rares y sont fortes alors qu'elles sont normales dans le groupe II.

Nous ne disposons pas de données chimiques pour Léoville.

III. LES ENCLAVES

Des fragments de roches plus ou moins arrondis, parfois centimétriques, nettement différents des chondrites-hôtes, ayant subi (comme le soulignent GROSSMAN *et al.*, 1976, pour Allende) une histoire compliquée avant de rejoindre leur situation actuelle, confirment le caractère hétérogène des brèches d'Allende et de Léoville.

Plusieurs enclaves ont été étudiées dans Allende (notamment par GROSSMAN *et al.*, 1976 ; FRUDLAND *et al.*, 1978 ; PALME *et al.*, 1985) et dans Léoville (KRACHER *et al.*, 1985). Qu'elle soient constituées seulement des cristaux brisés ou aussi des chondres et fragments lithiques inclus dans une matrice microcristalline, elles ont en général une granulométrie plus fine que leur hôte. Dans le type le plus fréquent rencontré dans *Allende* (pl. X, 1), les chondres ne se reconnaissent que par l'anneau opaque qui les encercle, opacité à laquelle contribue la présence de sulfure ; l'intérieur est pseudomorphosé en petits cristaux d'olivine. Un diffractogramme de rayons X sur un fragment de l'inclusion (C) de PALME *et al.* (1985) ne laisse ressortir que les raies d'une olivine Fa 48 ± 5 (le calcul de norme d'après l'analyse indique environ 90 % d'olivine Fa 45). S'agit-il d'une altération du type de celle décrite

pour les chondres magnésiens mais poussée jusqu'à son terme ou y a-t-il eu passage intermédiaire par serpentinisation suivie de déshydratation ?

BUNCH et CHANG (1980) ne reconnaissent pas de chondres dans ce type d'enclave, mais les pseudomorphoses seraient le résultat de métamorphisme de choc sur des porphyroblastes suivi de recristallisation par recuit plus ou moins long dans des couches d'ejecta. Ce serait donc du matériel type Allende remanié. Cependant, le fait de trouver des fragments ayant gardé leur contour amiboïdal originel (observation déjà faite par CLARKE *et al.*, 1970) est en contradiction avec l'idée d'un métamorphisme de choc.

Le calibrage des chondres nous rappelle les chondrites du sous-groupe Ornans CO3 ou du groupe C2 bien plus que du sous-groupe Vigarano C3V ; l'existence éventuelle dans une phase antérieure de phyllosilicates nous oriente vers les chondrites C2 dont on connaît de nombreux cas d'inclusion dans des hôtes différents. L'analyse publiée par PALME *et al.* (1985) ne contredit pas cette hypothèse, quoique les éléments-traces lithophiles réfractaires Sc et Terres Rares soient plus proches des CO3 d'après les données de KALLEMEYN et WASSON (1981).

Un trait remarquable est la faible teneur en Na et K qui pourrait être en rapport avec un lessivage du matériel initial dans l'hypothèse d'une période d'hydratation ou qui reflèterait des inhomogénéités de répartition des minéraux-porteurs (ces éléments sont, en revanche, plus abondants dans une autre enclave décrite par PALME *et al.*, 1985).

Le caractère exotique de certaines enclaves est plus net dans le cas de *Léoville*. Ici, en effet, toutes les inclusions observées se caractérisent par leur degré d'oxydation élevé et par l'abondance de la magnétite, dans une roche considérée comme un des termes réduits de la série de Vigarano.

On trouve quelques grains de métal, kamacite et taenite, mais la troïlite ne subsiste que dans la roche la moins altérée. Nous avons observé trois enclaves nettement apparentées, qui se distinguent par le degré d'altération plus ou moins poussé (il peut être total) des chondres qu'elles contiennent et dont les plus grandes dimensions en section polie varient de 18 mm à quelques mm. On voit par ailleurs dans la matrice de Léoville des linéations à magnétite qu'on serait tenté d'interpréter comme des fragments d'enclaves laminés entre les chondres. La grosse enclave figurée planche I, si elle repose elle-même en discordance sur la direction d'élongation des chondres et des inclusions blanches microcristallines, a subi la compression globale, car ses propres chondres, partiellement pseudomorphosés (pl. X, 2) sont aplatis parallèlement à l'aplatissement général. On remarque quelques inclusions à spinelle confirmant une parenté avec les chondrites C2 ou C3. Sur la même section se trouve une enclave à contours indécis sans chondres, où la magnétite souligne des plissotements en accordéon. La troisième enclave montre des chondres totalement pseudomorphosés. L'aspect (pl. X, 3) fait penser à un phyllosilicate, mais un diffractogramme de rayons X ne décèle que les raies d'olivine à 30 ± 5 % Fa. La magnétite se rencontre en amas de très petits grains, en sphérolites, parfois en cubes (pl. X, 4). Le développement des cristaux est variable d'une inclusion à l'autre.

Les analyses ponctuelles à la microsonde montrent que l'olivine Fa 35 domine tant dans les pseudomorphoses de chondres que dans la matrice interstitielle. La compacité des produits fins dans Léoville est telle que les analyses bouclent bien et confirment qu'il n'y a pas actuellement de phyllosilicates de façon notable sauf peut-être dans la pseudomorphose de la mésostase plus alumineuse d'un fragment rocheux pyroxénique. Nous préférons les analy-

ses ponctuelles (sur 3 μm environ) aux analyses défocalisées sur 50 μm qui intègrent des débris cristallins clastiques ainsi que des grains métalliques et de la magnétite. Mais nos analyses ne sont pas de ce fait directement comparables à celles de la littérature (McSween, 1977 ; Kracher *et al.*, 1985). Dans le tableau 1 elles sont comparées à celles de la matrice hors enclave. On notera leur similitude.

Le processus de pseudomorphose des enclaves n'a pas eu lieu dans les mêmes conditions dans les deux chondrites puisque celles d'Allende sont très sulfurées et celles de Léoville, très riches en magnétite. Quoiqu'une caractéristique importante des chondrites C2 soit la présence de minéraux hydratés, on peut supposer qu'elles ont appartenu à ce groupe, même si on ne trouve plus actuellement de phyllosilicates. Étaient-elles déjà déshydratées lorsqu'elles ont rejoint leur position actuelle dans leur météorite respective ? C'est probable dans le cas de Léoville où elles sont dominées par l'association Fa35 + magnétite, très différente de la composition des fractions fines de l'hôte mais il ne semble pas possible de répondre à cette question dans le cas d'Allende.

Tableau 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO_2	35,0	36,55	36,24	37,17	34,51	35,7	32,3	33,2	34,1	34,28	31,8	33,11	28,0
TiO_2	0,10	0,02	—	0,10	—	0,09	0,09	0,07	0,11	0,15	0,14	0,13	0,09
Al_2O_3	3,46	2,82	1,61	3,40	2,56	2,52	2,42	1,76	2,20	3,29	2,25	3,07	2,30
Cr_2O_3	0,50	0,62	0,11	0,34	0,46	0,37	0,55	0,5	0,51	0,52	0,37	0,55	0,38
FeO	17,95	32,12	31,26	25,38	38,79	32,2	39,9	37,2	33,6	27,15	32,4	29,68	31,9
MnO	0,19	0,24	0,17	0,30	0,25	0,3	0,33	0,35	0,27	0,18	0,26	0,22	0,21
MgO	25,03	26,80	29,18	25,56	23,11	19,5	18,4	21,8	22,11	24,63	23,4	21,42	20,2
CaO	2,31	0,45	0,26	0,80	0,72	5,7	0,86	0,76	2,16	2,59	2,37	2,67	2,37
Na_2O	0,30	0,22	0,06	0,23	0,14	0,64	0,48	0,31	0,16	0,46	0,12	0,44	0,22
K_2O	0,03	0,20	0,01	0,29	0,04	0,14	0,15	0,10	0,04	0,03	0,01	0,03	0,01
Σ	99,40	100,04	98,90	93,56	100,59	97,56	95,8	96,57	97,23	99,96	96,78	99,83	90,33

Léoville (anal. 1 à 9) :

1 — analyse globale, d'après Wiik H. (1969) avec P_2O_5 0,27, C 0,77, FeS 5,60, Fe 6,38, Ni 1,51 ;
2 — enclave noire-moyenne de 4 analyses de sa matrice ;
3 — enclave noire-pseudomorphose d'un chondre ;
4 — enclave noire-mésostase d'un fragment de roche fluidale à pyroxène calcique ;
5 — matrice à 5 μm de l'inclusion LH ;
6, 7, 8 — matrice à 20, 50, 80 μm de l'inclusion L2 (anal. Kurat) avec respectivement 0,4, 0,32, 0,52 NiO ;
9 — matrice sur 100 μm par microsonde défocalisée (McSween, 1976) avec NiO 1,59, SO_3 0,39.

Allende (anal. 10 à 13) :

10 — analyse globale (Clarke *et al.*, 1970 et Martin et Mason, 1974) avec P_2O_5 0,23 C 0,29 Fes 4,03, NiS 1,60, Fe 0,17, Ni 0,36 ;
11 — enclave sombre d'après anal. Palme avec Ni 1,63, S 2,03, du Fe compté en FeO doit exister en FeS.
12 — matrice (anal. Clarke *et al.*, 1970) avec C 0,36, FeS 5,49, NiS 2,37, CoS 0,09, NiFe 1,25.
13 — matrice sur 100 μm par microsonde défocalisée (McSween, 1976) avec NiO 1,83, SO_3 2,82.

IV. LA MATRICE

Quels sont les constituants de la matrice, comment distinguer le matériel qu'on pourrait appeler primitif, s'il en reste, du matériel ayant subi des transformations peut-être multiples, chimiques et physiques ? Les chiffres de 35-40 % de matrice retenus sont certainement très exagérés si l'on élimine la fraction clastique, débris détachés d'objets plus gros mais fragiles ou ayant subi une altération chimique ayant provoqué la désagrégation, ou encore parce qu'ils résultent de la pulvérisation par choc comme le suggèrent BUNCH et CHANG (1980).

Les produits fins se sont-ils déposés en même temps que les inclusions à la surface d'un objet en formant un régolithe ? Il faut alors comprendre la répartition bi-modale de la dimension des grains de ce régolithe. Ont-ils enrobé les inclusions avant accrétion, les bordures rapprochées perdant ensuite apparemment leur identité ? Un tel processus est nettement illustré dans le cas de la chondrite non équilibrée de Tieschitz où l'ourlet à grain fin de chaque chondre a gardé son individualité, mais ne l'est pas dans les chondrites carbonées, peut-être parce que l'accumulation de produits fins, commencée autour des chondres, a continué au cours de l'accrétion.

Ces emballages de produits fins pourraient avoir évité que les inclusions amiboïdes très fragiles ne se brisent lors de leur accrétion (comme le pensent MACPHERSON et GROSSMAN, 1981) où, lorsqu'elles se fragmentent quand même, que les morceaux ne se dispersent. Ils préservent une relation spatiale entre inclusions alumino-calciques grenues et microgrenues laissant entrevoir une relation génétique entre elles. On peut reconnaître encore de tels ourlets, mais ils ne sont pas répérables autour de toutes les inclusions, BUNCH et CHANG (1980) les appellent halos et en distinguent autour de 15 % d'entre elles dans Allende. Ils ne contiennent presque pas de débris cristallins grossiers.

Ces halos représentent-ils la matrice non clastique à l'état pur, ou y a-t-il eu réaction chimique entre les inclusions-support et le dépôt de surface ? Y a-t-il eu, par ailleurs, modification globale de la météorite par un métamorphisme oblitérant les caractéristiques initiales des matériaux (MCSWEEN, 1977) ou non (MACPHERSON et GROSSMAN, 1981) ? Dans ce dernier cas, pourrait-on encore reconnaître dans la matrice des produits bruts datant de l'accrétion de la nébuleuse solaire ? On comprend la nécessité d'une étude particulièrement soignée.

Des différences notables existent entre Léoville et Allende, les relations chondres et inclusions-matrice semblent beaucoup plus tranchées dans Léoville que dans Allende, c'est pourquoi nous commencerons par étudier la matrice de Léoville mais la compaction subie par la météorite oblitère la microtexture et empêche toute étude morphologique au MEB de la matrice. Il reste l'observation optique, en microscopie électronique par transmission, ainsi que les analyses chimiques ponctuelles.

Léoville

Les grains micrométriques de minéraux opaques (ferro-nickel, magnétite, troïlite) sont répartis en traînées irrégulières. Doit-on les considérer comme des débris minéraux et

n'appeler « matrice s. s » que le matériel silicaté qui prend, au plus fort grossissement du microscope par réflexion, un aspect chagriné laissant supposer des inhomogénéités submicroniques ? Dans les bords amincis à 10 μm d'épaisseur des sections, la matrice apparaît verdâtre, sans structure hors des débris cristallins et des grains opaques.

En microscopie électronique par transmission après amincissement ionique, les images obtenues par C. Willaime (pl. XI, 1 et 2) montrent qu'il s'agit de matériau amorphe à très finement cristallisé ; les anneaux continus de diffraction obtenus sur la région ponctuée (fig. 1) paraissent correspondre à la wüstite FeO, tandis que les anneaux discontinus obtenus sur les microcristaux de la figure 2 correspondent à de l'olivine, accompagnée d'autres phases non identifiées. J. R. Ashworth (*comm. pers.*) a reconnu beaucoup d'olivine parmi les grains plus développés (micrométriques) dispersés dans la matrice. Le carbone n'a pu être identifié en particules séparées mais il est présent dans la matrice. Le spectre que nous avons obtenu à la microsonde Raman Mole montre qu'il s'agit d'un carbone désordonné.

La matrice a été analysée par McSween (1977) par microsonde défocalisée sur diamètre de 100 μm. Il est intéressant de comparer ses résultats avec les analyses ponctuelles. Un diamètre de 100 μm intègre nécessairement plusieurs débris clastiques, c'est ce qui explique la variabilité des analyses de McSween comme il le montre sur l'exemple de Bali. Nos analyses ont été effectuées en bordure d'inclusions alumino-calciques pour essayer de déceler une éventuelle contamination chimique de la matrice par l'inclusion, contamination qu'il n'y aurait pas de chance de détecter en bordure des inclusions magnésiennes, à cause de leur similitude chimique (sauf pour FeO). Des analyses de G. Kurat à 20, 50, 80 μm du contact de l'inclusion L2 semblent indiquer une diminution, en s'écartant de l'inclusion de Al, Ca, Na, alors qu'une analyse à 5 μm du contact de LH (an. 5), ne diffère pas de la composition normale. La composition modale de la matrice est dominée par une olivine à 50 % Fa, résultat qu'on retrouve par diffractogramme de rayons X. Le rapport Al_2O_3/CaO de la matrice de la météorite (an. 5,8) et de celle de l'enclave noire (an. 2) s'écarte nettement du rapport de l'ensemble de la météorite, comme c'est le cas dans les chondrites non équilibrées (Huss *et al.*, 1981), le calcium est beaucoup plus localisé que l'aluminium probablement dans des débris silicatés évités dans nos analyses.

On rencontre à l'intérieur de plusieurs inclusions alumino-calciques de la matrice qui à été enrobée par l'inclusion à chaud comme le prouvent les gouttelettes sphériques métalliques ou à métal + troïlite.

On sait donc que des particules fines de la matrice sont entrées en contact avec les inclusions réfractaires à température d'environ 1000°C avant d'être refroidies suffisamment rapidement pour conserver ces sphérules et ne pas recristalliser de cristaux supérieurs au micron.

Allende

Dès 1970, Clarke *et al.* montrent que la matrice est formée essentiellement de fins cristaux d'olivine riche en fer (Fa50) et contient des sulfures (pentlandite et troïlite), quelques grains d'awaruite Ni_3Fe, des traces de chromite. La matière carbonée formerait un film mince recouvrant les cristallites. Green *et al.* (1971) repèrent en microdiffraction électronique entre des grains d'olivine l'anneau de diffraction du graphite, le carbone est aussi

observé par BAUMAN *et al.* (1973) sur des débris après attaque fluorée, et concentré par des attaques sévères éliminant les silicates, par LEWIS *et al.* (1977) qui cherchent à localiser les gaz rares. En 1980, BUNCH et CHANG montrent qu'il y a des différences morphologiques entre le halo à grain très fin et le reste de la matrice ainsi qu'une plus forte concentration de carbone et de soufre dans le halo. Ils attribuent au carbone les fines boursouflures trouvées exclusivement sur les olivines. La matrice d'Allende est pulvérulente et lacunaire ; cela permet l'étude morphologique au MEB, mais cela oblige à imprégner le matériel pour confectionner les sections polies, ce qui peut entraîner des artefacts. Aussi, devant certaines contradictions de la littérature, avons-nous regardé au MEB des éclats bruts et des sections polies, ainsi qu'une section très mince polie, où la matrice devient transparente mais où les halos demeurent opaques.

Étude sur éclats bruts (pl. XI, 3, 4, 5) : on ne trouve presque pas de cristaux à formes cristallographiques parfaites mais surtout des débris à contours plus ou moins géométriques, des fuseaux d'olivine recouverts de pustules qui peuvent représenter des produits de réaction restés sur place, des produits de condensation, du carbone.

Étude sur sections polies : l'observation optique préalable permet de distinguer la zone d'altération des chondres, le halo étroit qui les entoure dépourvu de fuseaux d'olivine où aucun grain n'a de contour géométrique (pl. XII, 1), la matrice proprement dite et des amas de produits fins. Ceux-ci sont souvent des inclusions totalement altérées comme on peut s'en rendre compte à fort grossissement (pl. XII, 3). Leur désagrégation libère des cristaux qui font alors partie de la matrice proprement dite dans laquelle, par conséquent, il est pratiquement impossible de reconnaître la fraction fine originelle. D'autre part, l'abondance des produits d'altération des chondres dans le halo ne permet pas non plus de considérer celui-ci comme de la matrice « pure ».

Dans l'entourage d'inclusions alumino-calciques, la matrice se charge de sorte d'éponges riches en chaux, silice, FeO qui sont des objets très complexes auxquels on ne peut assigner une composition minéralogique déterminée, c'est probablement pourquoi KORNACKI et WOOD (1984) les appellent « chaotic objects ».

La réalisation de profils de traversée en bordure de IAM1 et IAM5 montre qu'il y a contamination de calcium, mais pas d'aluminium dans la matrice au contact de l'inclusion, elle-même enrichie en fer au bord, mais ce n'est pas de façon régulière. Même lorsque l'inclusion est cassée, lorsqu'elle ne préserve pas de bordure, il y a encore eu certains échanges sur une frange limitée à quelques microns, comme on peut l'observer dans le cas de IAM5.

MACPHERSON *et al.* (1985) distinguent plusieurs couches accrétionnaires autour des inclusions réfractaires. Leurs analyses quantitatives montrent de fortes variations d'une inclusion à l'autre dans la composition des couches accrétionnaires, ce qui rejoint nos observations qualitatives. Ils les interprètent comme des couches successives de cristaux accrétés dans la nébuleuse à température insuffisante pour atteindre un équilibre chimique, alors que nous pensons qu'il s'agit plus simplement d'accrétion de matériau matriciel, qui a réagi de façon incomplète avec leur support. La matrice a été occasionnellement en contact avec des inclusions alumino-calciques chaudes qui l'ont « cuite » et lui ont apporté aluminium et calcium. Les olivines néogènes y ont un faciès en petits rectangles caractéristiques (ex. 3529-42, pl. XII, 4).

Commencée probablement dans un nuage de poussières denses, des modifications

chimico-physiques ont dû s'achever après l'accrétion totale, d'après les relations spatiales entre objets altérés, objets partiellement altérés et matrice, avec circulation de gaz chargés de composés sulfurés et carbonés. Le soufre a certainement été très mobile d'après les nombreux anneaux sulfurés à cœur de silicates ferreux, témoins d'anciens globules de troïlite-pentlandite. Le carbone, plus désordonné que dans Léoville, est inégalement réparti dans la matrice pour ce qui est de sa fraction mal graphitisée repérée par son spectre Raman.

Il semble beaucoup plus difficile de trouver encore dans la matrice des produits non transformés datant de l'accrétion de la nébuleuse, dans Allende que dans Léoville.

CONCLUSION PROVISOIRE

Les météorites carbonées ont une composition chimique globale proche de la composition de la photosphère solaire (particulièrement le type C1) et sont en conséquence considérées comme les objets les plus primitifs que nous puissions étudier. Les observations décrites ici montrent cependant leur complexité, à la fois par la diversité de leurs composants (chondres magnésiens, inclusions alumino-calciques, débris météoritiques, matrice) et par l'histoire de ceux-ci.

Les objets les plus complexes et les plus difficiles à expliquer sont les inclusions alumino-calciques, et d'abord les grains à métaux rares qu'elles englobent. Le fait de trouver plusieurs de ces grains avec des caractéristiques voisines dans un même cristal-hôte (ex. 5629-42, LV6B) peut s'accorder avec l'idée que celui-ci aurait partiellement « digéré » en le modifiant un type plus primitif, plus volumineux de grain à métaux rares tel que « Willy » (Armstrong *et al.*, 1985), objet ayant eu lui-même auparavant une histoire à étapes multiples dont une au moins en un milieu beaucoup plus oxydant que celui de la nébuleuse d'après les teneurs en Mo et W (Fegley et Palme, 1985).

Le pyroxène contient par contre du Ti 3+, correspondant à une formation sous pression d'oxygène faible, de l'ordre de celle de la nébuleuse, donc dans des conditions très différentes de celle des grains à métaux rares voisins ou inclus.

Dans beaucoup d'inclusions on reconnaît des fragments ou des cristaux qui ont été associés sans atteindre un équilibre chimique total entre eux.

Il peut y avoir eu réactions entre solides dans certains cas, fusion partielle dans d'autres cas, lors d'un phénomène thermique de courte durée. Celle-ci a souvent été suffisante pour enrober complètement le noyau non fondu et donner aux inclusions une forme arrondie. Une évaporation partielle des inclusions est invoquée pour expliquer leur bordure rubanée mais Murrell et Burnett (1985) font remarquer que les teneurs en thorium et uranium de ces bordures ne montrent pas de fractionnement quoique Boynton et Wark (1985) y trouvent les concentrations en Terres Rares qu'on pourrait attendre d'un tel mécanisme.

Il serait séduisant de considérer les inclusions alumino-calciques à grain fin comme des dérivés plus riches en volatils provenant de la fusion partielle des inclusions macrocristallines, mais la répartition des Terres Rares entre les deux catégories ne permet pas d'accepter cette hypothèse sous cette forme simplifiée.

C'est par un phénomène thermique également brusque que se forment parallèlement les chondres magnésiens, provoquant la fusion en atmosphère réductrice de matériaux (poussières ?, condensats préexistants ?) un peu plus riches en éléments réfractaires que ceux des chondrites ordinaires. Le soufre y joue un rôle plus actif dans Allende que dans Léoville. Les histoires très incomplètes mais à peu près semblables jusqu'ici dans Léoville et Allende vont ensuite diverger.

Les lieux de formation ultime des inclusions alumino-calciques et magnésiennes ont-ils été séparés dans l'espace ou dans le temps ? À quel moment sont-elles mélangées ? Quand s'y sont associées les enclaves de chondrites préexistantes ?

Pour Léoville, le contact à chaud de matrice avec les inclusions alumino-calciques, matrice dont la composition n'est pas fondamentalement différente des chondres, semble établi : le refroidissement rapide au moins initialement (1200-600°C environ) est nécessaire pour expliquer le maintien de la forme des gouttes métalliques et l'état cristallin à peine initié de la matrice. Celle-ci peut s'être formée par condensation (ou recondensation) de vapeurs sous forme amorphe, forme de nucléation plus favorable que la forme cristalline. On voudrait pouvoir associer le façonnement final des inclusions alumino-calciques au même évènement thermique qui a provoqué la formation des chondres magnésiens. L'accrétion sur un corps parental en même temps que celle de débris d'autres chondrites carbonées aurait suivi rapidement de sorte que la fin du refroidissement aurait été très ralentie permettant la séparation de la taenite en kamacite et en alliage à 50 % Ni. Le choc ayant provoqué des déformations et la polycristallinité du métal n'a pas donné lieu à un réchauffement durable, cependant il explique mal à lui seul les textures observées.

Pour Allende, les inclusions alumino-calciques et les chondres magnésiens ont dû se trouver pris dans des tourbillons bien plus riches en gaz que pour Léoville.

Ils ont probablement évolué d'abord dans des nuages différents car les inclusions réfractaires se sont altérées sous l'influence de vapeurs oxydantes riches en fer, ou le sodium, le chlore... étaients présents mais non le soufre, alors que la mobilité de cet élément est un caractère dominant des chondres magnésiens. Ces vapeurs ont pu suffisamment freiner les grains pour que, les nuages se mélangeant, les solides se rencontrent sans se volatiliser, donnant naissance aux grains mixtes. Les chondres alumino-calciques basaltiques, qui possèdent invariablement des gouttes sulfurées dans leur couronne se seraient peut-être formés à la même époque. Les poussières fines en suspension dans les gaz ont accrété simultanément autour de tous les objets et beaucoup ont réagi avec eux formant les diverses enveloppes que l'on reconnaît actuellement. Ces observations vont dans le sens d'une accrétion relativement lente, suivie d'un dépôt régolithique conjointement à celui de fragments provenant d'autres chondrites carbonées, et d'un refroidissement progressif dans un milieu suffisamment riche en gaz et poreux pour provoquer l'homogénéité actuelle globale tout en maintenant les déséquilibres notoires des grains silicatés mitoyens.

Pour les deux météorites, il n'y a pas lieu d'évoquer un métamorphisme quelconque de sorte que d'éventuelles poussières interstellaires ou des condensats nébulaires de basse température devraient pouvoir être identifiés s'ils n'ont pas été totalement occultés par des réactions gaz-solides. Par contre, les matériaux ont été trop remaniés pour pouvoir reconnaître autre chose que des reliquats éventuels de la séquence de condensation de la matière solaire.

Que de lacunes dans cette ébauche historique, que de contradictions aussi ! Peu ou pas d'indications sur le matériau dont sont issus les composants de ces chondrites ; sur le lieu, l'époque de formation, puis de leur accrétion sur le corps parental qui les a stockés. Ne sont indiquées ici que des données minéralogiques, pétrologiques et chimiques, insuffisantes pour aller plus loin.

La publication de J. C. Lorin de la Grandmaison (en préparation) apportera des informations complémentaires qui permettront de combler beaucoup de lacunes, d'ébaucher un scénario, tout en montrant les limites actuelles de nos connaissances.

Remerciements

Cette étude, poursuivie au Laboratoire de Minéralogie-Cristallographie associé au CNRS de l'Université Pierre et Marie Curie, a été rendue possible par le don ou le prêt d'échantillons des personnalités mentionnées dans l'introduction, que je remercie vivement et grâce au concours des services de microscopie à balayage du BRGM (Mlle Vuibert et M. Jeanrot) et du Laboratoire de micropaléontologie de l'Université (M. P. Blanc), des services d'analyse à la microsonde électronique du BRGM et du MNHN, de M. A. Jeanne-Michaud pour la photographie, et de Mme D. Raddas pour la réalisation technique. Je remercie vivement J. C. Lorin et G. Manhès qui m'ont aidée de leurs conseils ainsi que P. Pellas qui a bien voulu relire le manuscrit.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Il sera fréquemment fait référence aux périodiques suivants dont on abrégera les titres comme suit :
Earth and Planetary Sciences Letters : EPSL
Geochimica Cosmochimica Acta : GCA
Lunar and Planetary Science (abstract volumes) : LPS
Proceedings of Lunar and Planetary Science Conference : PLPSC

Allen, J. M., L. Grossman, A. M. Davis, et I. D. Hutcheon, 1978. — Mineralogy, textures and mode of formation of a hibonite-bearing Allende inclusion, PLPSC, **9** : 1209-1233.

Anders, E., 1964. — Origin, age and composition of meteorites. *Space Science Rev.*, **III** : 583 ; 714.

Armstrong, J. T., A. El Goresy, et G. J. Wasserburg, 1985. — Willy, a prize noble fremdling. GCA, **49** : 1001-1022.

Bauman, A. S., J. R. Delaney, et E. M. Bollin. 1973. — Allende meteorite carbonaceous phase ; intractable nature and SE morphology. *Nature*, **241** : 264-268.

Bischoff, A., K. Keil, et D. Stoffler, 1983. — Al-rich objects in ordinary chondrites. *Meteoritics*, **18** : 268-269.

Blander, M., et L. H. Fuchs, 1975. — Calcium-aluminium rich inclusions in the Allende meteorite : evidence for a liquid origin. GCA, **391** : 1605-1619.

Blander, M., L. H. Fuchs, C. Horowitz, et R. Land, 1980. — Primordial refractory metal particles in the Allende meteorite. GCA, **44** : 217-223.

Boynton, W. V., et D. A. Wark, 1984. — Trace element abundances in rim layers of an Allende type A coarse-grained Ca, Al-rich inclusion. *Meteoritics*, **19** : 195-197.

Boynton W. V., et D. A. Wark, 1985. — Refractory rims : evidence for high temperature events in the post-formation history of Ca-Al-rich inclusions. *Meteoritics*, **20** : 613-614.

Bunch, T.E., et S. Chang, 1980. — Carbonaceous chondrites. I. — carbonaceous chondrite phyllosilicates and light element geochemistry as indicators of parent body processes and surface conditions. GCA, **44** : 1543-1577.

CAIN, P. M., et H. Y. MCSWEEN, 1984. — Strain analysis of the Léoville chondrite and conditions in asteroidal interiors. *Meteoritics*, **19** : 203-204.

CHOU, C. L., P. A. BAEDECKER, et J. T. WASSON, 1976. — Allende inclusions : volatile-element distribution and evidence for incomplete volatilization of presolar solids. GCA, **40** : 85-94.

CHRISTOPHE MICHEL-LÉVY, M., R. CAYE, et J. NELEN, 1970. — A new mineral in the Vigarano meteorite. *Meteoritics*, **5** : 211.

CHRISTOPHE MICHEL-LÉVY, M., B. CERVELLE, et C. DESNOYERS, 1977. — Localisation de sulfures et d'oxydes chromifères dans la météorite d'Allende. *Bull. Soc. fr. Minér. Cristallogr.*, **100** : 258-262.

CHRISTOPHE MICHEL-LÉVY, M., M. MADON, et C. WILLAIME, 1979. — Optical and TEM studies of some Leoville textural features. *Meteoritics*, **14** : 366.

CHRISTOPHE MICHEL-LÉVY, M., G. KURAT, et F. BRANDSTATTER, 1982. — A new calcium aluminate from a refractory inclusion in the Leoville carbonaceous chondrite. EPSL, **61** : 13-22.

CLARKE, R. S., E. JAROSEWICH, B. MASON, J. NELEN, M. GOMEZ, et J. R. HYDE, 1970. — The Allende, Mexico, meteorite shower. *Smithson. Contr. Earth Sci.*, **5** : 53 p.

CLAYTON, R. N., N. ONUMA, L. GROSSMAN, et T. K. MAYEDA, 1977. — Distribution of the pre-solar component in Allende and other carbonaceous chondrites. EPSL, **34** : 209-224.

CLAYTON, R. N., G. J. MCPHERSON, I. D. HUTCHEON, A. M. DAVIS, L. GROSSMAN, T. K. MAYEDA, C. MOLINI-VELSKO, et J. M. ALLEN, 1984. — Two forsterite-bearing FUN inclusions in the Allende météorite. GCA, **48** : 535-548.

DOMINIK, B., E. K. JESSBERGER, Th. STAUDACHER, K. NAGEL, et A. EL GORESY, 1978. — A new type of white inclusion in Allende : petrography, mineral chemistry, 40 Ar-39 Ar ages, and genetic implications. PLPSC, **9** : 1249-1266.

EL GORESY, A., K. NAGEL, et P. RAMDOHR, 1978. — Fremdlinge and their noble relatives. PLPSC, **9** : 1279-1303.

EPSTEIN, I. R., 1984. — Chemically generated spatial structures. *Nature*, **307** : 692.

FEGLEY, B. Jr., et H. PALME, 1985. — Evidence for oxidizing conditions in the solar nebula from Mo and W depletions in refractory inclusions in carbonaceous chondrites. EPSL, **72** : 311-326.

FRUDLAND, R. M., E. A. KING, et D. S. MCKAY, 1978. — Allende dark inclusions. PLPSC, **9** : 1305-1329.

FUCHS, L. H., 1969. — Occurence of cordierite and aluminous orthoenstatite in the Allende chondrite. *Amer. Miner*, **54** : 1645-1653.

— 1978. — The mineralogy of a rhönite-bearing calcium-aluminium rich inclusion in the Allende meteorite. *Meteoritics*, **13** : 73-88.

GOODING, J. L., K. KEIL, T. FUKUOKA, et R. A. SCHMITT, 1980. — Elemental abundances in chrondrules from unequilibrated chondrites : evidence for chondrule origin by melting of pre-existing materials. EPSL, **50** : 171-180.

GRAHAM, A., 1975. — The Allende meteorite : chondrule composition and the early history of the solar system. *Smithson. Contr. Earth Sci.*, **14** : 35-40.

GREEN., H. W., S. V. RADCLIFFE, et A. H. HEUER, 1971. — Allende meteorite : a high-voltage electron petrographic study. *Science*, **172** : 936-939.

GROSSMAN, L., 1975. — Petrography and mineral chemistry of Ca-rich inclusions in the Allende meteorite. GCA, **39** : 433-454.

— 1977. — High temperature condensates in C chondrites ; *dans* : Comets, asteroids, meteorites. A. H. DELSEMME, éd. : 507-516.

— 1980. — Refractory inclusions in the Allende meteorite. *Rev. Earth Planet. Sci*, **8** : 559-608.

GROSSMAN, L., et R. GANAPATHY, 1976. — Trace elements in the Allende meteorite. II. Fine-grained, Ca-rich inclusions . GCA, **40** : 967-977.

GROSSMAN, L., et I. M. STEELE, 1976. — Amoeboid olivine aggregates in the Allende meteorite. GCA, **40** : 149-155.

GROSSMAN, L., C. A. LEITCH, R. GANAPATHY, et R. L. METHOT, 1976. — Before Allende. *Meteoritics*, **11** : 293 (abstract).

GROSSMAN, L., R. GANAPATHY, R. L. METHOT, et A. M. DAVIS, 1979. — Trace elements in the Allende meteorite. IV- Amoeboid olivine aggregates. GCA, **43** : 817-829.

HAGGERTY, S. E., 1977. — Refinement of the Ti-cosmothermometer in the Allende meteorite and the significance of a new mineral $R^{2+}Ti_3O_7$ in association with armalcolite. LPS, **8** : 389-391.

HAGGERTY, S. E., et B. M. MCMAHON, 1979. — Magnetite-sulfide metal complexes in the Allende meteorite. PLPSC, **10** : 851-870.

HASHIMOTO, A., et L. GROSSMAN, 1984. — Refractory inclusions in amoeboid olivine aggregates in Allende. *Meteoritics*, **19** : 234-235.

HUSS, G. R., K. KEIL, et G. J. TAYLOR, 1981. — The matrices of unequilibrated ordinary chondrites : implications for the origin and history of chondrites. GCA, **45** : 33-51.

HUTCHEON, I. D., I. M. STEELE, J. V. SMITH, et R. N. CLAYTON, 1978. — Ion microprobe, electron microprobe and cathodoluminescence data for Allende inclusions with emphasis on plagioclase chemistry. PLPSC, **9** : 1345-1368.

JOHNSON, P. H., et E. A. KING, 1978. — Chemical homogeneity in the Allende meteorite. *Meteoritics*, **13** : 505-506.

KALLEMEYN, G. W., et J. T. WASSON, 1981. — The compositional classification of chondrites. I. The carbonaceous chondrite groups. GCA, **45** : 1217-1230.

KEIL, K., G. I. HUSS, et H. B. WIIK, 1969. — The Leoville, Kansas meteorite (abstract) ; *dans* : Meteorite research, éditeur P. M. MILLMAN, Reidel : 217.

KEIL, K., et L. H. FUCHS, 1971. — Hibonite from the Leoville and Allende meteorites. EPSL, **12** : 184-190.

KING, T. V., J. C. BUTLER, et E. A. KING, 1978. — Petrofabric study of the Allende meteorite. *Meteoritics*, **13** : 517-518.

KING, E. A., T. V. KING, J. ARNDT, et U. HORNEMANN, 1978. — Experimental investigation of the textures of CV3 carbonaceous chondrites. *Meteoritics*, **13** : 549-550.

KORNACKI, A. J., et J. A. WOOD, 1984. — Petrography and classification of Ca-Al-rich inclusions in the Allende CV3 chondrite. PLPSC, **14 B** : 573-587.

KORNACKI, A. S., et J. A. WOOD, 1984. — The identification of group II inclusions by electron probe microanalysis of perovskite. EPSL (preprint).

KRACHER, A., K. KEIL, G. W. KALLEMEYN, J. T. WASSON, et R. N. CLAYTON, 1985. — Composition and petrology of inclusions in the Leoville (a) chondrite : implications for accretion of the CV parent body. PLPSC, **16 D** : 123-135.

KURAT, G., 1970. — Zur Genese der Ca-Al reichen Einschlüsse im chondriten von Lancé. EPSL, **9** : 225-231.

LEWIS, R. S., J. GROS, et E. ANDERS, 1977. — Isotopic anomalies of noble gases in meteorites and their origins. 2. Separated minerals from Allende. *J. geophys. Res.*, **82** : 779-792.

LORIN, J. C., A. HAVETTE, et G. SLODZIAN, 1981. — Ion Microscopy of chondritic components : a search for prechondritic materials. *Meteoritics*, **16** : 324.

LORIN J. C., et A. HAVETTE, 1985. — Extreme magnesium isotope fractionation in the Leoville meteorite. *Isotopic ratios in the solar system, CNES* : 43-69.

LOVERING, J. F., D. A. WARK, et D. K. SEWELL, 1979. — Refractory oxide, titanate, niobate and silicate accessory mineralogy of some type B Ca-Al-rich inclusions in the Allende meteorite. LPS, **10** : 745-747.

McMahon, B. M., et S. E. Haggerty, 1980. — Experimental studies on the magnetite-alloy-sulfide association in the Allende meteorite. Constraints on the conditions of chondrule formation. PLPSC, **11** : 1003-1025.

MacPherson, G. J., et L. Grossman, 1979. — Melted and non-melted coarse grained Ca-Al-rich inclusions. *Meteoritics*, **14** : 479-480.

MacPherson, G. J., et L. Grossman, 1981. — Clastic rims on inclusions : clues to the accretion of the Allende parent body. LPS, **12** : 646-647.

MacPherson, G. J., L. Grossman, J. M. Allen, et J. R. Beckett, 1982. — Origin of rims on coarse-grained inclusions in the Allende meteorite. PLPSC, **12B** : 1079-1092.

MacPherson, G. J., J. M. Paque, E. Stolper, et L. Grossman, 1984. — The origin and significance of reverse zoning in melilite from Allende type B inclusions. *J. Geol.*, **92** : 289-306.

MacPherson, G. J., A. Hashimoto, et L. Grossman, 1985. — Accretionary rims on inclusions in the Allende meteorite. GCA, **49** : 2267-2280.

McSween, H. Y., 1977. — Petrographic variations among carbonaceous chondrites of the Vigarano type. GCA, **41** : 1777-1790.

McSween, H. Y., et S. M. Richardson, 1977. — The composition of carbonaceous chondrite matrix. GCA, **41** : 1145-1161.

Martin, P. M., et B. Mason, 1974. — Major and trace elements in the Allende meteorite. *Nature*, **249** : 333-334.

Marvin, U. B., J. A. Wood, et J. S. Dickey, 1970. — Calcium-aluminium rich phases in the Allende meteorite. EPSL, **7** : 346-350.

Mason, B., 1974. — Aluminium-titanium-rich pyroxenes, with special reference to the Allende meteorite. *Amer. Miner.*, **59** : 1198-1202.

Mason, B., et S. R. Taylor, 1982. — Inclusions in the Allende meteorite. *Smithson. Contr. Earth Sci.*, n° 25 : 30 p.

Meeker, G. P., G. J. Wasserburg, et J. T. Armstrong, 1983. — Replacement textures in CAI and implications regarding planetary metamorphism. GCA, **47** : 707-721.

Muller, W. F., et F. Wlotzka, 1982. — Macroscopic texture and transmission electron microscopic observations. LPS, **13** : 558-559.

Murrell, M. T., et D. S. Burnett, 1985. — Another look at actinide chemistry in Ca-Al-rich inclusions. *Meteoritics*, **20** : 713-714.

Nagasawa, H., D. P. Blanchard, J. W. Jacobs, J. C. Brannon, J. A. Philpotts, et N. Onuma, 1977. — Trace element distribution in mineral separates of the Allende inclusions and their genetic implications. GCA, **41** : 1587-1600.

Nelen, J., A. Noonan, et K. Fredriksson, 1975. — Al-Ca rich chondrules in the Coolidge chondrite. *Meteoritics*, **10** : 90-91.

Olsen, E., I. Hutcheon, A. Davis, et T. Mayeda, 1982. — Xenolithic clast in Murchison : a new type of carbonaceous chondrite. *Meteoritics*, **17** : 264-265.

Osborn, T. W., R. G. Warren, R. H. Smith, H. Wakita, D. L. Zellner, et R. A. Schmitt, 1974 — Elemental composition of individual chondrules from carbonaceous chondrites, including Allende. GCA, **38** : 1359-1378.

Palme, H., et F. Wlotzka, 1976. — A metal particle from a Ca-Al-rich inclusion from the meteorite Allende, and condensation of refractory siderophile elements. EPSL, **33** : 45-60.

Palme, H., et F. Wlotzka, 1979. — A Ca-Al-rich inclusion from the Leoville meteorite. *Meteoritics*, **14** : 508-511.

Palme, H., G. Kurat, F. Brandstätter, A. Burghele, J. Huth, B. Spettel, et F. Wlotzka, 1985. — An unusual chondritic fragment from the Allende meteorite. LPS, **16** : 645-646.

SIMON, S. B., et S. E. HAGGERTY, 1980. — Bulk compositions of chondrules in the Allende meteorite. PLPSC, **11** : 901-927.

STEELE, I. M., J. V. SMITH, et C. M. SKIRIUS, 1985. — Unique forsterite in chondrites. LPS, **16** : 815-818.

STOLPER, E., 1982. — Crystallization sequences of Ca-Al-rich inclusions from Allende : an experimental study. GCA, **46** : 2159-2180.

STOLPER, E., et P. IHINGER, 1983. — The color of meteoritic hibonite : an indicator of oxygen fugacity. LPS, **14** : 749-750.

TAYLOR, S. R., et B. H. MASON, 1978. — Chemical characteristics of Ca-Al inclusions in the Allende meteorite. LPS, **9** : 1158-1160.

WÄNKE, H., H. BADDENHAUSEN, H. PALME, et B. SPETTEL, 1974. — On the chemistry of the Allende inclusions and their origin as high temperature condensates. EPSL, **23** : 1-7.

WARK, D. A., 1978. — Early system stratigraphy : the condensation sequence from Allende to chondrites and the origin of chondrules. LPS, **9** : 1208-1210.

— 1980. — Allende CAI-3643. A layered record of protosolar nebula condensation. LPS, **11** : 1202-1204.

— 1981. — Alteration and metasomatism of Allende Ca-Al-rich materials. LPS, **12** : 1145-1147.

— 1984. — The Allende meteorite : information from Ca-Al-rich inclusions on the formation and early evolution of the solar nebula. Ph. D. thesis, 385 p. Univ. Melbourne, Australie.

WARK, D. A., et J. F. LOVERING, 1976. — Refractory platinum metal grains in Allende calcium-aluminium-rich clasts ; possible exotic presolar material ? LPS, **7** : 912-914.

WARK, D. A., et J. F. LOVERING, 1977 — Marker events in the early evolution of the solar system : evidence from rims in Ca-Al-rich inclusions in carbonaceous chondrites. PLPSC, **8** : 95-112.

WARK, D. A., et J. F. LOVERING, 1978. — Platinum metals and other opaque phases in Allende CAI. LPS, **9** : 1214-1216.

WARK, D. A., et J. F. LOVERING, 1978. — Classification of Allende coarse-grained CAI. LPS, **9**, 1211-1213.

WARK, D. A., et J. F. LOVERING, 1982. — The nature and origin of type B1 and B2 CAI in the Allende meteorite. GCA, **46** : 2581-2594.

WARK, D. A., et J. F. LOVERING, 1982. — Evolution of Ca-Al-rich bodies in the earliest solar system : growth by incorporation. GCA, **46** : 2595-2607.

WARK, D. A., T. C. HUGHES, M. LUCAS, et C. D. MCKENZIE, 1980. — Proton microprobe analysis of perovskite in Allende CAI. LPS, **11** : 1205-1207.

WARK, D. A., W. V. BOYNTON, R. R. KEAYS, et T. C. HUGHES, 1985. — Trace element and petrologic clues to the formation of forsterite-bearing Ca-Al-rich inclusions in the Allende meteorite. GCA, à paraître.

WIIK, H. B., 1969. — On regular discontinuities in the composition of meteorites. *Commentat. physico-math.*, **34** : 135-145.

WLOTZKA, F., 1976. — Phosphates in the Allende carbonaceous chondrite. *Meteoritics*, **11** : 393-394.

WLOTZKA, F., et D. A. WARK, 1982. — The significance of zeolites and other hydrous alteration products in Leoville Ca-Al-rich inclusions. LPS, **13** : 869-870.

PLANCHE I

Tranches des météorites d'Allende et de Léoville. La diversité des objets inclus dans la matrice sombre à grain fin apparaît nettement. La barre représente 1 mm.

1. — Allende : les chondres sont arrondis. Un halo foncé cerne certains d'entre eux. Les inclusions blanches microcristallines ont des contours très irréguliers. Celles qui sont allongées montrent une orientation préférentielle.
2. — Léoville : la section est traversée par des fissures remplies de rouille. Les chondres sont déformés, aplatis. On remarque dans un angle une inclusion blanche macrocristalline et de l'autre côté une enclave noire.

Slices of the Allende and Leoville meteorites. The scale bars represent 1 mm. The diversity of the objects included in the fine-grained dark matrix is noteworthy.

1. — Allende : the chondrules are rounded. Some of them are rimmed by a halo which is darker than the surrounding matrix. The fine-grained white inclusions have very irregular contours. The elongated ones show a prefered orientation.
2. — Leoville : the polished section is crossed by rusty cracks. The chondrules are flattened. A coarse-grained white inclusion is visible at the right low corner and a large black xenolith at the left one.

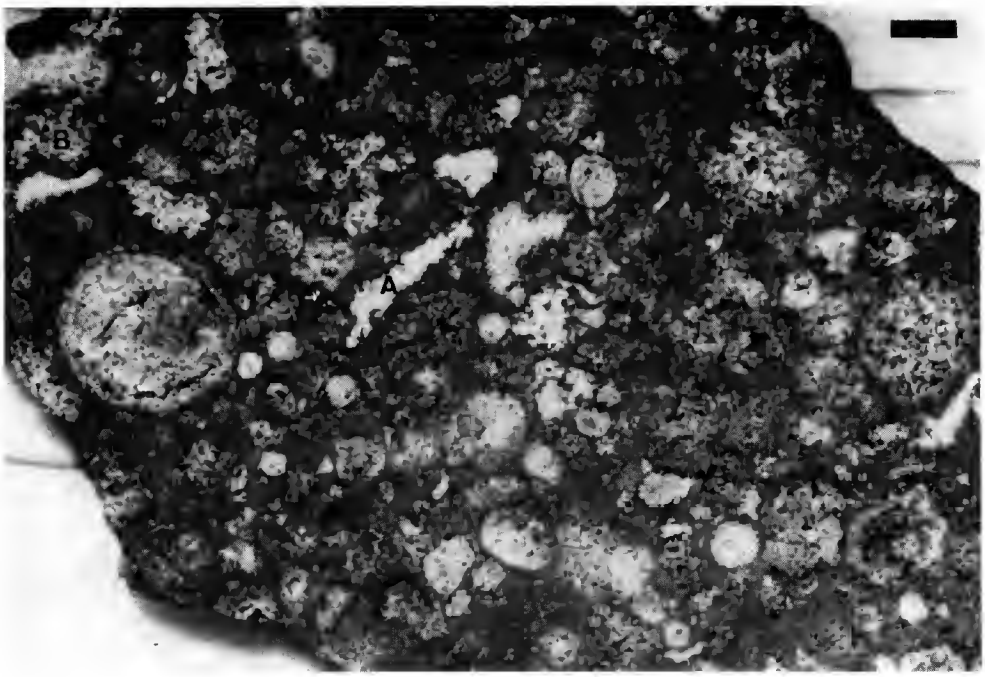


PLANCHE I

PLANCHE II

1. — Chondre pyroxénique à couronne pyroxénique à grain plus fin au-delà d'un anneau de minéraux opaques. Photo en lumière transmise × 30. Léoville.

2. — Trois fragments de roche à olivine et feldspath sont inclus dans une pâte à grain plus fin où prédominent la clinoenstatite et les minéraux opaques. Lumière transmise × 30. Léoville.

3. — Chondre d'olivine en barres entouré d'une première auréole étroite à grain fin riche en pyroxène, puis d'une seconde auréole à grain très fin, presque opaque. Lumière transmise × 30. Allende.

4. — Grands cristaux d'olivine entourés d'une auréole à olivines plus petites et globules opaques. Lumière transmise × 30. Allende.

5. — Chondre à olivine dans la bordure duquel s'accumulent des gouttes de minéraux opaques (FeNi et FeS) et des olivines plus petites. MEB × 200. Léoville.

6. — Sphérule de minéraux opaques dans un chondre d'Allende. M métal Ni_2Fe ; T troïlite. P pentlandite ; O oxyde, une magnétite chromifère. Lumière réfléchie × 400.

7. — Chondre magnésien en voie d'altération ; les cœurs des cristaux d'olivine intacte sont gris foncé, l'enrichissement en fer se produit par les bords ; le matériel interstitiel devient poreux ; les gouttes de minéraux opaques sont partiellement désulfurées et ne se reconnaissent plus que par leur forme circulaire. 2 sur 6 ou 7 ont été cerclées de noir. MEB × 375. Allende.

8. — Détail de l'altération du bord d'un chondre : la clinoenstatite grise se transforme en olivine ferreuse (plus clair) par apport de FeO. MEB × 2000. Allende.

1. — A pyroxen chondrule with a finer-grained pyroxene ring delimited from the core by opaque minerals. Leoville. Transmitted light × 30.

2. — Three olivine and feldspar-rich fragments are included in a finer grained mesostasis in which clinoenstatite and opaques prevail. Leoville. Transmitted light × 30.

3. — A barred-olivine chondrule surrounded by a first thin pyroxen rich fine-grained ring and by a second very fine grained nearly opaque larger ring. Allende, transmitted light × 30.

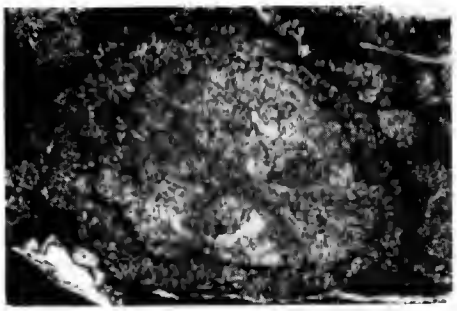
4. — Large olivine crystals surrounded by smaller ones together with opaque globules. Allende. Transmitted light × 30.

5. — An olivine chondrule surrounded by opaque mineral drops (NiFe and FeS) and smaller olivine crystals. Leoville. SEM × 200.

6. — Detail of an opaque mineral drop in Allende : M, metal Ni_2Fe ; T troïlite, P pentlandite, O oxide, a chrominan magnetite ; holes are black ; reflected light × 400.

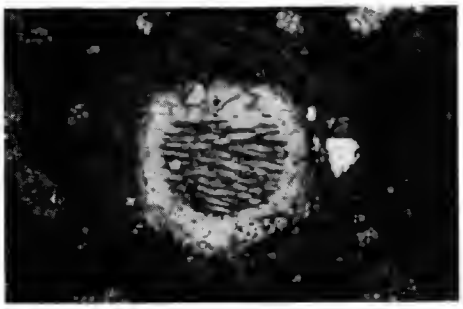
7. — The beginning of alteration of a magnesian chondrule : the dark cores of the olivine crystals are intact ; the iron enrichment proceeds by their border ; the mesostasis becomes porous. The opaque drops have lost part of the sulfur and may be recognized by their rounded shapes ; 2 of the 6 or 7 ones are cercled on the photo. Allende. SEM × 375.

8. — Detail of the alteration on the boarder of a chondrule ; the clinoenstatite, by gaining FeO, is pseudomorphosed in iron-magnesian olivine (whitish). Allende. SEM × 2000.



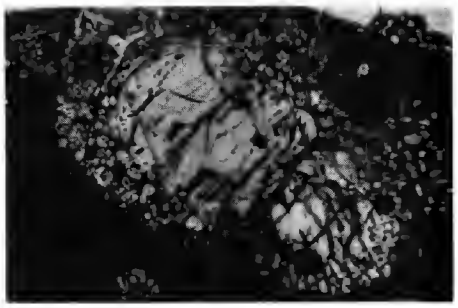
1

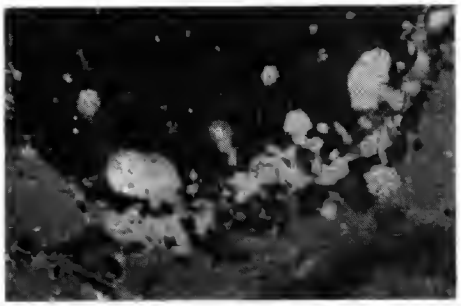
2



3

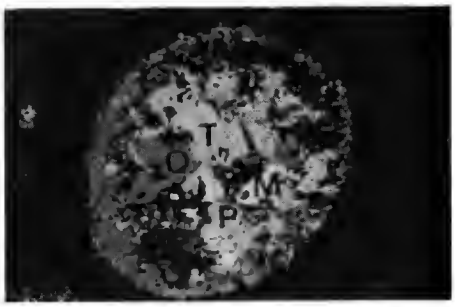
4

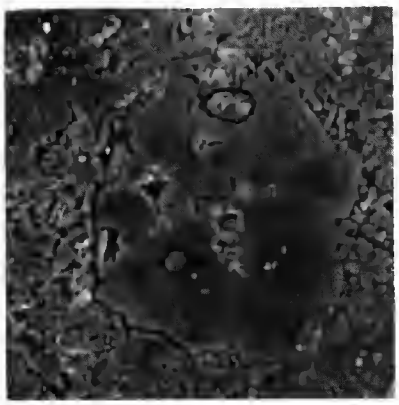




5

6





7

8

PLANCHE II

PLANCHE III

Allende

1. — Une minigéode à sulfures dans un chondre où l'on remarque un remplissage en zones successives ; au-dessus, une autre avec lacune centrale . MEB × 500.

2. — Dans la couronne d'altération du même chondre, une goutte opaque est partiellement désulfurée ; celle-ci contient un peu de chrome. MEB × 750.

3. — Dans la matrice, une goutte encore désulfurée, poreuse, provenant probablement d'un chondre totalement désagrégé. MEB × 1000.

4. — Fuseaux d'olivine de la matrice englobé par la troïlite au bord d'un chondre où l'altération commence à peine ; on aperçoit cependant une sphérule partiellement désulfurée dans l'olivine. MEB × 600.

Léoville

5, 6, 7. — Un « chondre » métallique déformé contenant une goutte de verre dévitrifié en forme de larme. Dans la figure 5 (MEB × 100) on distingue mal la taenite (T) un peu plus claire, au centre du grain, de la kamacite (K). Le sulfure (S) est concentré en bordure, ainsi qu'un peu de phosphase (grains sombres P) ; détail de l'encadré figure 7 (MEB × 1000). La figure 6 montre la région centrale après attaque au nital, en lumière réfléchie. On note que la taenite claire comme la kamacite est polycristalline, les joints de grains étant soulignés par de fines inclusions ou lacunes. Les bandes de Neumann sont particulièrement nettes près de la larme silicatée.

Allende

1. — An elongated opaque mineral drop in a magnesian chondrule, where may be noticed successive filling zonation. Another drop above shows a central cavity. SEM × 500.

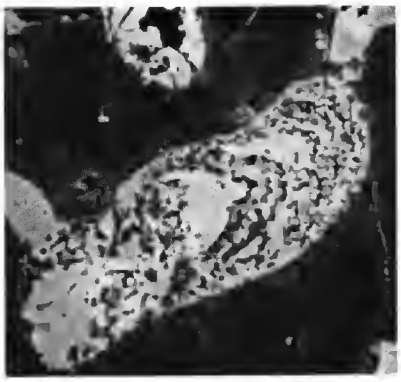
2. — In the alteration ring around the same chondrule (f. 1) an opaque drop which is slightly chromiferous is partially desulfurised. SEM × 750.

3. — In the matrix, a still more desulfurised porous drop, probably loosened from a wholly altered chondrule. SEM × 1000.

4. — Olivine matrix spindles embedded in troïlite on the boarder of a chondrule which is scarcely altered ; however a partially desulfurised bleb is visible in its olivine. SEM × 600.

Leoville

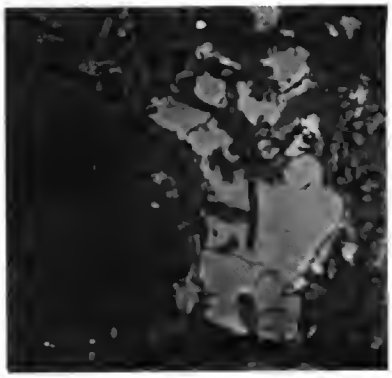
5, 6, 7. — A deformed metallic « chondrule » containing a devitrified silicate glass tear drop. The slightly lighter taenite (T) is difficult to distinguish from the kamacite (K) in figure 5 (SEM × 100). The sulfide (S) is concentrated in the boarder with some phosphate (dark grains P) ; detail of the box in figure 7 (× 1000). The figure 6 shows in reflected light the central portion of the chondrule after a nital attack. We may notice that the clear taenite, like the kamacite is polycristalline, tiny inclusions or holes underlining the joints of grains. Neumann bands are also visible, specially near the tear drop.



1

2

3



4

5

6 7

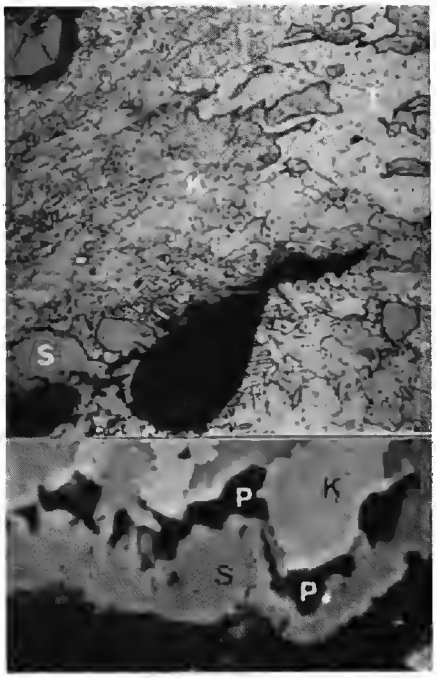


PLANCHE III

PLANCHE IV

1. — Aiguilles de wollastonite et prisme cannelé de néphéline dans une cavité d'une inclusion à mélilite d'Allende. MEB × 4000.

2. — Amas de grains de pérovskite (grains blancs arrondis et poussière) et d'aluminate de calcium (en noir) dans la gehlenite de Léoville L2. MEB × 1000.

3. — Cristal de pérovskite contenant des gouttes de gehlenite pure et des lacunes en forme de cristaux négatifs inclus dans la gehlenite de l'inclusion d'Allende H103.133. En bas de la photo, on aperçoit des produits d'altération de la gehlenite. MEB × 500.

4. — L'inclusion d'Allende IAM5 vue en éclairage oblique. On aperçoit des morceaux irréguliers de pyroxène (en gris) groupés au cœur de l'inclusion entourée d'une couronne de mélilite × 5.

5. — La mélilite lacunaire et ses produits d'altération en bordure de l'inclusion IAM1. MEB sur fragment × 2000.

6 et 7. — Spinelle en cristaux automorphes à angles vifs dans le pyroxène à gauche, à angles émoussés dans la mélilite à droite. Dans l'encart, des spinelles inclus dans la mélilite sont entourés d'un liseré pyroxénique, mais non dans l'anorthite au-dessus. Léoville L1 × 300.

8. — L'inclusion basaltique IAM2 dans Allende présente des guirlandes et des palissades de spinelle en relief sur la section polie où l'on remarque en gris foncé les lattes d'anorthite et en gris clair le pyroxène interstitiel. On n'observe pas de bordure rubanée au contact de la matrice à droite. Lumière réfléchie × 30.

9. — Dans l'inclusion d'Allende 3529-42, la hibonite formée des lattes associées au spinelle dans le pyroxène et l'anorthite à gauche en haut, et donne un aspect porcelainé à l'inclusion tellement elle est abondante en bas et à droite. Lumière réfléchie × 120.

Some minerals in the CAI

1. — Wollastonite needles and a striated prism of nepheline in a cavity of a melilite-rich CAI of Allende. SEM × 4000.

2. — A group of perovskite grains (white rounded specks and dust) and of the calcium aluminate (black) in the gehlenite of Leoville L2 inclusion. SEM × 1000.

3. — A perovskite crystal in which are round drops of pure gehlenite and holes (negative crystals) in the melilite of Allende CAI H103.133 ; below, fine grained alteration products of melilite. SEM × 500.

4. — The IAM5 Allende CAI viewed with inclined light. Irregular clasts of fassaitic pyroxene which are grouped in the core (grey) are surrounded by melilite. × 5.

6. — Euhedral spinel crystals with acute angles in fassaite on the left of the picture, with slightly rounded angles in the melilite on the right ; reflected light × 300. Leoville L1.

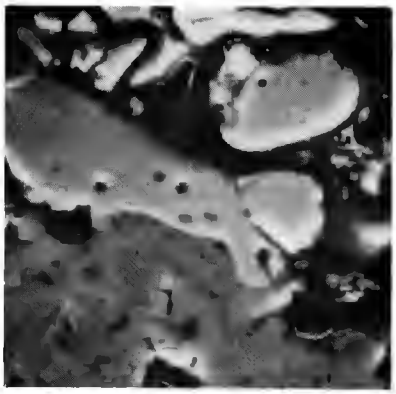
7. — An irregular rim of pyroxene encloses the spinels in melilite, but not those in anorthite, above. Leoville L1. reflected light × 300.

8. — The basaltic inclusion Allende IAM2 shows spinel garlands and palisades crossing over the anorthite laths (dark grey) and the interstitial pyroxene. There is no layered rim on the boarder towards the matrix on the right side of the picture. Reflected light × 30.

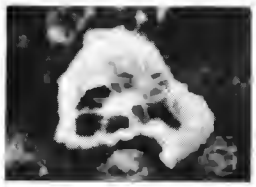
9. — In the Allende CAI 3529-42, hibonite is shown as laths associated with spinel in pyroxene and anorthite on the left upwards, as compact overabundant needles on the right, downwards.

1

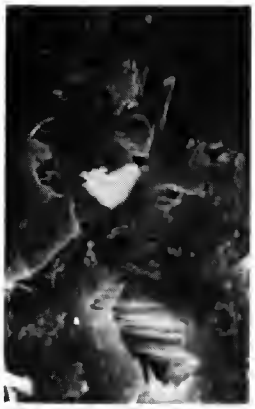
2



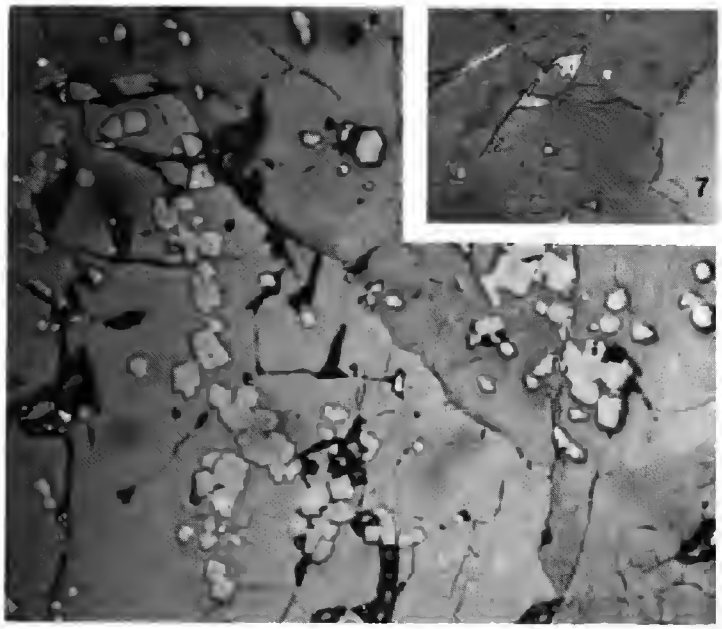
3



4

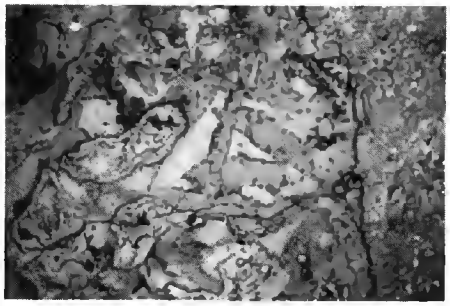


5



6

7



8

9

PLANCHE IV

Planche V

Grains riches en métaux rares

1. — Allende 3529-42. Un grain de ferro-nickel très riche en nickel est coincé entre un cristal de hibonite et un spinelle qui l'ont étranglé mais qu'on ne peut voir dans les conditions de prise de vue ; il contient des granules d'osmiridium en proportions variées Os-Ir de granule à granule. MEB × 6000.

2. — Allende 3529-42. Le plus gros grain à métaux rares trouvé dans la section(40 μm). Les taches blanches sont des alliages Os-Ir dans un ferro-nickel riche en nickel. Les parties les plus sombres contiennent du vanadium probablement sous forme oxydée et du phosphate de calcium. MEB × 2000.

3. — Allende 3529-42. Un sulfure de nickel contenant un cube d'alliage nickel-fer platinifère. La tache sombre sur celui-ci est due au point d'analyse. MEB × 6000.

4. — Léoville LV6B. Un grain de ferro-nickel réticulé enrichi en ruthénium et qui contient aussi du platine dans la bordure blanche. Il fait partie d'un ensemble de grains où l'on trouve aussi Os-Ir dont c'est le plus gros (10 μm) inclus dans la mélilite. MEB × 5000. Des grains à métaux rares très variés ont été trouvés dans cette même section par A. El Goresy.

5 — Léoville LH. Les grains blancs sont des alliages de ferro-nickel très riches en Os et Ir, avec un peu de Ru et Mo. Les grains gris clair sont un sulfure de fer et nickel avec traces de V. On détecte dans les régions gris foncé plus ou moins nuageuses Ru, Si, S, P, Cl, Ca, Ti, V, Fe, Ni, Os, Ir, Mo, des traces de W en proportions différentes d'un point à un autre, ces régions étant probablement formées de grains submicroniques ne contenant chacun qu'une partie de ces éléments parfois sous forme d'oxydes. MEB × 6000.

Noble metal rich grains

1 — Allende 3529-42. A nickel-iron grain with much nickel is crushed between a hibonite and a spinel crystal which strangle it (but which cannot be viewed on the picture according to the operative conditions). The white specks are osmium-iridium alloys with different proportions from speck to speck. SEM × 6000.

2. — Allende 3529-42. The largest noble metal bearing nickel-iron grain incluted in the section (40 μm). The white specks are osmium-iridium alloys, the darker regions contain vanadium probably as oxide and calcium phosphate. SEM × 2000.

3. — Allende 3529-42. A nickel sulfide grain in which a platiniferous nickel-iron cube is included. The dark spot on it is related to the electron beam impact. SEM × 6000.

4. — Leoville LV6B. A reticulated nickel-iron grain is enriched in ruthenium ; platinum is noticed in the white margin. It is the largest (10 μm) of a group of grains (with also Ir and Os) included in melilite. Quite different noble metal grains have also been found in that section by A. El Goresy. SEM × 5000.

5. — Leoville LH. The white specks are nickel-iron alloys very Os and Ir rich where are also noticed a little Ru and Mo. The light-grey areas are Ni Fe sulfides with traces of V. Many elements are detected in the dark grey more or less cloudy areas : Ru, Si, S, P, Cl, Ca, Ti, V, Fe, Ni, Os, Ir, traces of W in different proportions from point to point. These areas may be agglomerates of submicronic grains which gather only some of these probably partly oxidized elements. SEM × 6000.

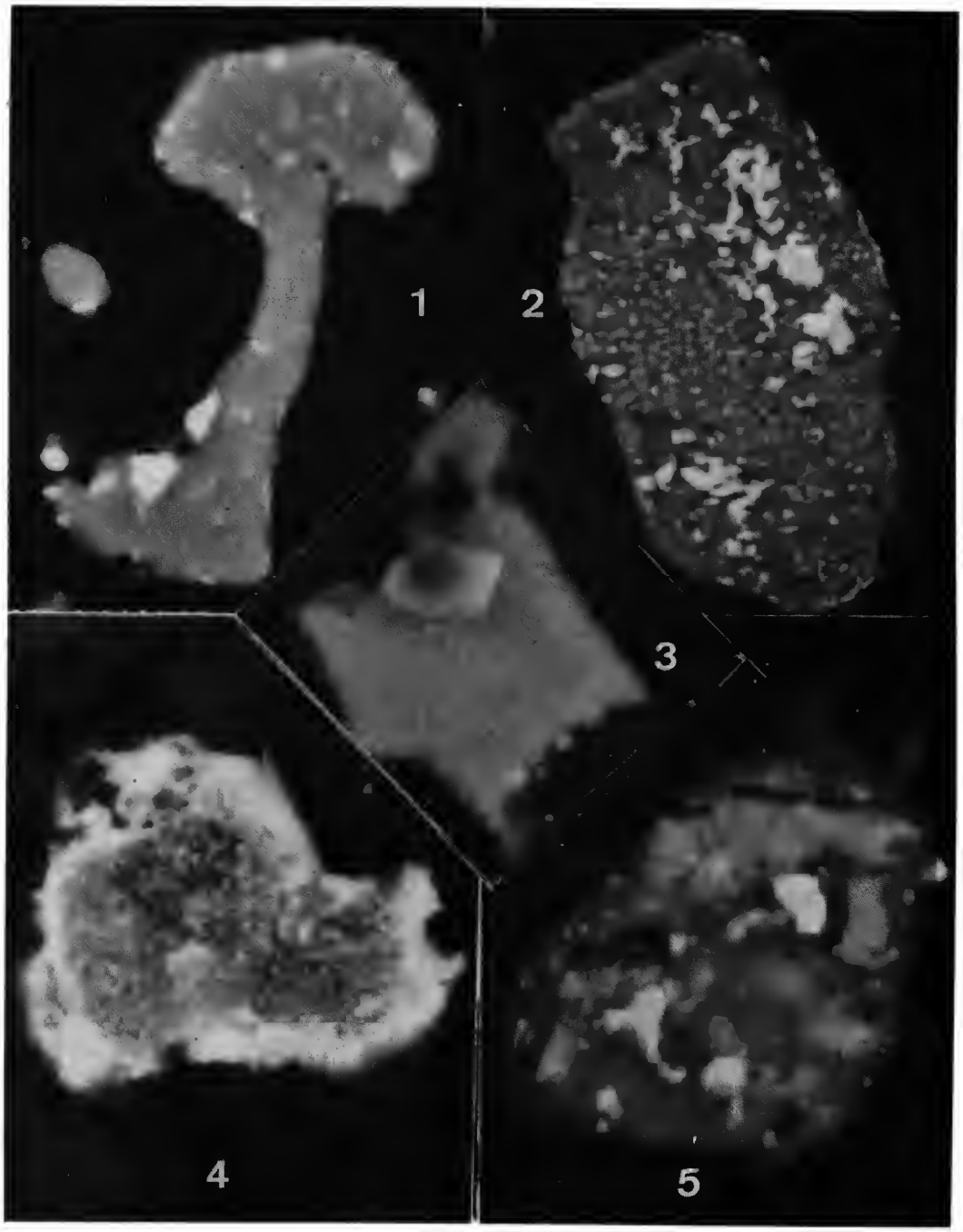


PLANCHE V

Planche VI

Allende

1. — Une petite partie de l'inclusion à gehlenite H103.133 vue en lumière transmise. On remarque l'abondance des débris dont certains sont bordés particllement d'un liseré rubané. Les zones altérées de la gehlenite sont gris foncé. × 20.

2. — Une inclusion vitreuse brisée qui ressemble par sa morphologie aux inclusions à gehlenite. Un liseré rubané de 15 μm d'épaisseur la cerne et se prolonge à l'intérieur comme si le silicate fondu s'était replié sur lui-même après acquisition du liseré, avant de se solidifier. Lumière transmise à travers plaque mince couverte ainsi que les figures suivantes. × 20.

3. — Inclusion basaltique. On voit en blanc les lattes feldspathiques entre lesquelles se trouve le pyroxène ; en chaînettes grises, les petits grains de spinelle. Des minéraux opaques s'accumulent en bordure, où le pyroxène est plus abondant qu'au cœur, mais il n'y a pas de bordure rubanée. À comparer avec IAM2, pl. IV, 8. × 20.

Objets mixtes

4. — Un cristal d'olivine isolé dans la matrice, qui contient de petits grains irréguliers de spinelle. × 120.

5. — Chondre au cœur duquel sont concentrés des amas de petits spinelles roses ; autour, des lattes de feldspath, olivine et minéraux opaques. × 40.

6. — Autre chondre où le feldspath se développe en éventail à gauche, l'olivine et les minéraux opaques à droite. × 20.

7. — Les portions alumino-calciques (feldspath et spinelle) en haut et magnésiennes sont ici séparées par une barrière de minéraux opaques, et le tout est entouré d'une couronne à grain fin d'olivine, pyroxène et opaques. × 20.

Allende

1. — A small portion of the H103.133 gehlenite inclusion viewed by transmitted light. There are plenty of clasts some of them with a layered rim on one side. The altered gehlenite zones look dark. × 20.

2. — A glassy broken inclusion the morphology of which seems like that of some gehlenite-rich inclusions. It is surrounded by a 15 μm wide layered rim which also penetrates inside as if the melted silicate had fallen back on itself after forming the rim and before solidifying. Transmitted light accross covered thin section as the following figures. × 20.

3. — A typical basaltic inclusion. The pyroxene is intergrown between the white abundant feldspathic laths ; chains and agglomerates of tiny spinels make grey patches. Opaque minerals are grouped in the margin where pyroxene is more abundant than in the core, but there is no layered rim. To be compared to IAM2, pl. IV, 8, in reflected light. × 20.

Mixed objects

4. — An olivine crystal isolated in the matrix, peppered with tiny irregular spinels. × 20.

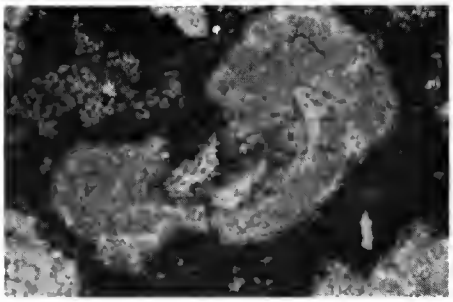
5. — Aggregates of tiny pink spinels are found in the core of the chondrule which contains also feldspar laths, olivine and opaques.

6. — Another chondrule where feldspathic fans develope on the left, pyroxene, olivine and opaques on the right of the picture. × 20.

7. — The calco-aluminous (feldspar and spinel upwards) and magnesian parts are separated by a barrier of opaques and the whole is surrounded by a finer-grained margin of olivine, pyroxene, opaques. × 20.

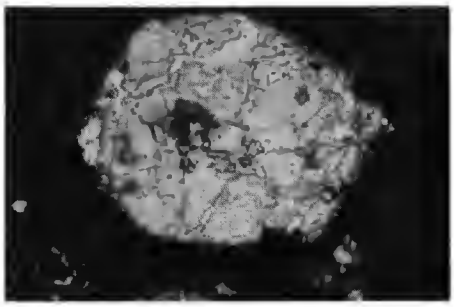
1

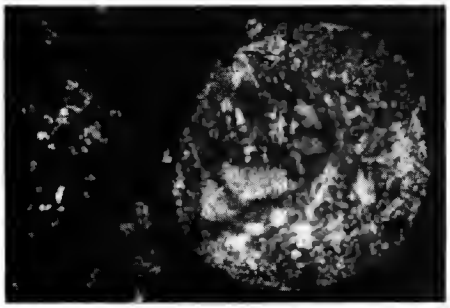
2



3

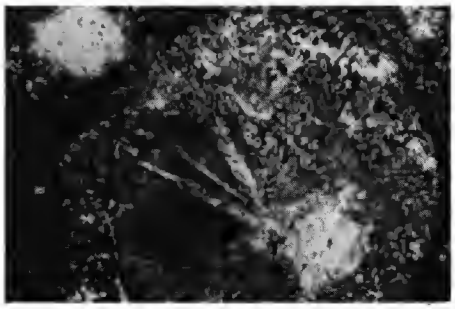
4





5

6



7

PLANCHE VI

Planche VII

Bordures des inclusions alumino-calciques

1. — La hibonite accompagnée de grains de pérovskite cristallise dans la gehlenite sur une large bande en bordure de l'inclusion de *Léoville* L4a, bordure dont on voit en bas la bande de spinelle sombre. MEB × 400.

2. — De la matrice repérée par les fines gouttes métalliques en haut, à droite a été englobée dans l'inclusion dont on voit, traversant l'image verticalement, la bordure rubanée. Le développement de la frange externe à olivine est irrégulier, au contact de la matrice. *Léoville*. MEB × 500.

3. — Détails de la bordure de l'inclusion 3535b. A, anorthite ; H, hibonite ; P, pyroxene ; S, spinelle. En noir, lacunes. La gehlenite à droite n'est pas altérée ; la bordure à olivine à gauche semble plus ou moins vermiculée. *Léoville*. MEB × 1000.

4. — L'inclusion d'*Allende* IAM5 est en contact direct avec la matrice. On voit l'altération de la mélilite. Les grains de spinelle marqués 1 à 4 contiennent respectivement 15,8 ; 11,0 ; 0,83 et 0,37 FeO. MEB × 300.

5. — Bordure bien développée, rubanée, de la même inclusion dans le golfe (pl. XI, 6) et large frange externe au contact de la matrice avec « éponges » à silicates de calcium et fer prédominants. Un liseré sombre à néphéline, sodalite, etc., est situé entre la bordure à spinelle + pérovskite (angle droit en bas) et le liseré pyroxénique. MEB × 500.

The CAI rims

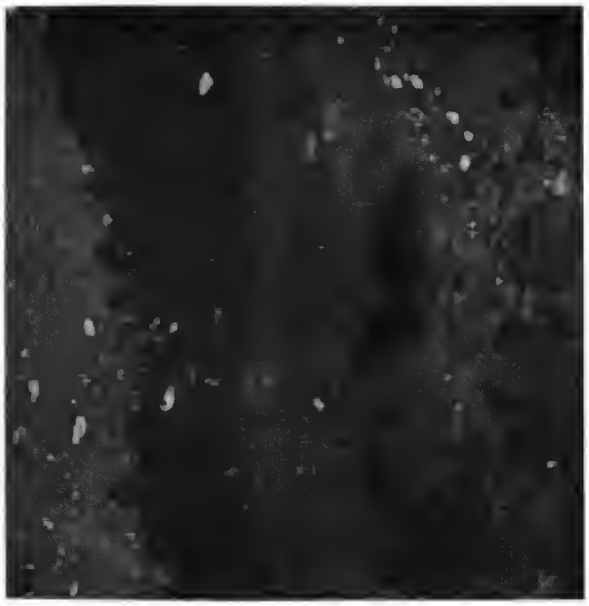
1. — Hibonite laths with perovskite grains have crystallized in gehlenite, in a thick band on the boarder of the Leoville inclusion L4a, inside the spinel layer which is below, dark grey. SEM × 400.

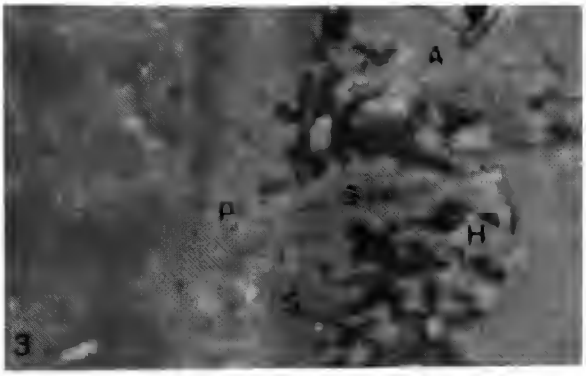
2. — Some matrix, identified by minute metallic blebs, upwards right, has been included in the CAI, the layered rim of which crosses the picture from top to bottom. The olivine outer layer has an irregular development towards the matrix. Leoville. SEM × 500.

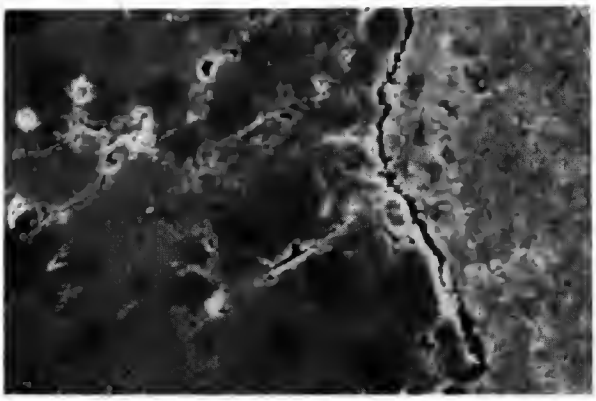
3. — Detail of the CAI 3535b. A, anorthite ; H, hibonite ; P, pyroxene ; S, spinel. Gehlenite on the right is not altered at all. The olivine outer layer on the left seems more or less wormy. Leoville. SEM × 1000.

4. — Broken boarder of the Allende CAI IAM5 and its contact with matrix. The alteration of melilite is visible. The dark spinel crystals 1-4 bear respectively 15.8, 11.0, 0.83 and 0.37 % FeO.

5. — The same CAI bears a nice classical layered rim which, along the gulf (pl. XI, 6) gets a thick outer layer with spongey iron-calcium silicate bodies. A dark layer with nepheline, sodalite... lies between the spinel + perovskite boarder (low-right corner) and the pyroxene layer. SEM × 500.







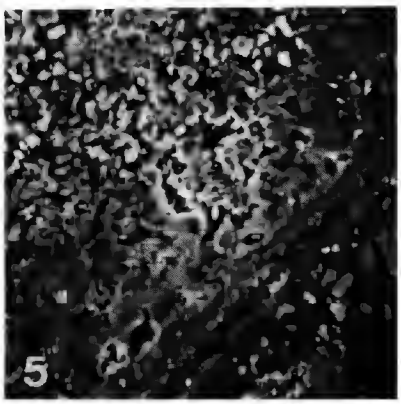


PLANCHE VII

PLANCHE VIII

1. — Inclusions microcristallines à olivine stratifiées dans *Léoville*. Il s'agit soit de plusieurs inclusions de même nature déposées ou accrêtées en même temps au même endroit, soit d'une inclusion fragile brisée lors de compression, soit d'une inclusion très diverticulée dont les diverticules sont sectionnés par le plan de coupe. La dimension des cristaux d'olivine est assez uniforme mais par endroit la bordure est un peu plus grossière suggérant une palissade. Une inclusion sombre, semblable à du verre dévitrifié, à grain très fin se trouve dans l'angle inférieur droit (flèche) lumière transmise × 100.

2. — Une inclusion microcristalline à olivine dans *Allende* aux contours très déchiquetés et avec des boulettes à spinelle dont l'une (flèche) est bien visible. Lumière transmise × 20.

3. — Détail de l'inclusion blanche microcristalline étirée marquée A sur la figure I pl. I, d'Allende. G andradite, N néphéline, P pyroxène calcique et alumineux. MEB × 1000.

4. — Détail de l'inclusion colloforme B (pl. I, I) à comparer au même type dans Léoville (pl. IX). Des noyaux de spinelle à bordures plus ferrifères sont entourés d'un ourlet pyroxénique. Entre, une frange sombre étroite à minéraux sodiques. On voit combien ce résidu d'inclusion est altéré et transformé. On remarque à droite de la photo de nombreux objets arrondis, spongieux à Si, Ca, Fe. *Allende*. MEB × 300.

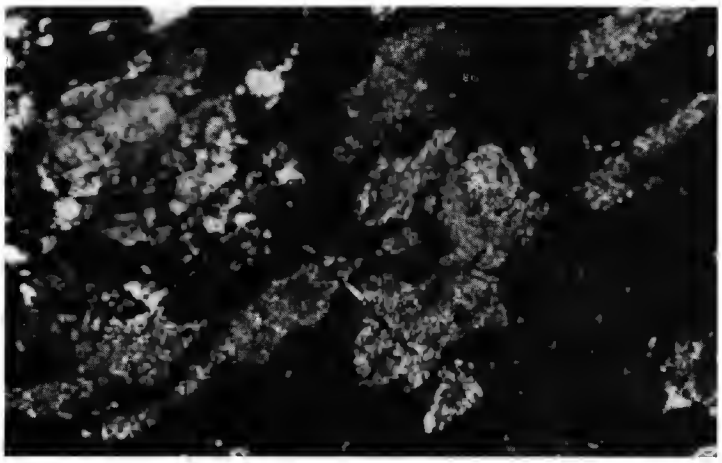
Fine-grained inclusions

1. — Fine-grained layered olivine inclusions in Leoville. Either many of the same sort were accreted or deposited at the same place in the same time, either a brittle one was broken when pressed, or a very diverticulated one had its branches cut by the thin-section. The size of the crystals is rather uniform except when the boarder gets larger grains, suggesting a palisade. A dark, very fine-grained inclusion, like devitrified glass, lies in the right lower corner (arrow). Transmitted light × 100.

2. — A fine-grained olivine inclusion in Allende with very corrugated boarders and with spinel globules one of which is obvious (arrow). Transmitted light × 20.

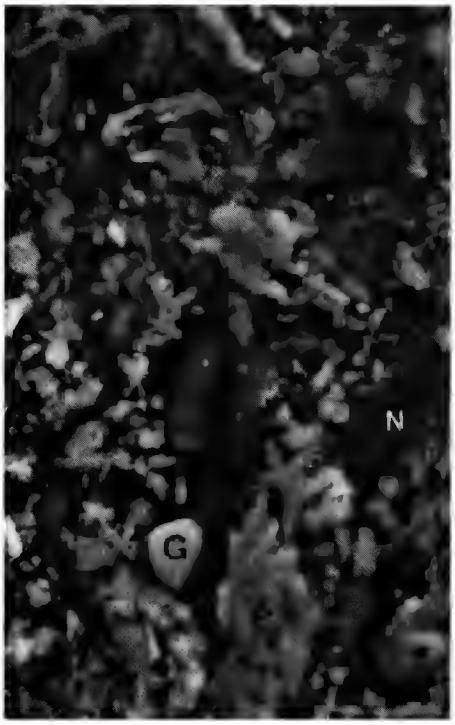
3. — Detail of the white elongated inclusion marked « A » figure 1, pl. I. G andradite, N nepheline, P calco-aluminous pyroxene. Allende. SEM × 1000.

4. — Detail of the colloform inclusion marked « B » (pl. I, I) to be compared to the same type in Leoville (pl. IX). Spinel cores (with iron rims) are surrounded by a pyroxene rim. Between, a very thin sodium-rich layer. This residual inclusion has been deeply altered and passes progressively to matrix material. We may notice in the right side of the picture numerous rounded spongy Si, Ca, Fe-rich objects. Allende. SEM × 300.



1

2



3

4

PLANCHE VIII

Planche IX

Inclusions microcristallines alumino-calciques dans Léoville

1. — Partie d'une grande inclusion colloforme vue en lumière transmise × 300. Des détails au MEB figurent en 2, 3, 4, et 6. L'inclusion peut être considérée comme une association de sphérules ou plutôt comme un verre qui a été très fluide et très instable. Les parties noires sont formées de matrice coincée entre les sphérules comme on peut le voir en 3. La zone limpide en haut à gauche est aussi photographiée en 2. C'est un silicate alumineux et sodique, mais des variations de teneurs font hésiter entre néphéline et verre. De toute façon, le sodium semble bien d'origine primaire et non d'altération secondaire. Le fer est présent en faible teneur.

2. — Les grains clairs inclus dans la zone sodique sont des pyroxènes à forte teneur en Al et Ti. Contre l'inclusion en haut se trouve un amas riche en olivine polygonale fine. MEB × 300.

3. — On trouve dans les sphérules des spinelles avec V et traces de Cr et de la mélilite ; entre, de la matrice. La bordure est détaillée en 6. MEB × 500.

4. — L'inclusion possède une apophyse boursouflée qui a manqué de se détacher de la masse principale lors de l'accrétion ou d'un choc mais qui est cependant restée sur place (flèche). MEB × 50.

5. — Une autre inclusion vermiculée semble avoir essaimé de fins globules dans la matrice. MEB × 400.

6. — Détails de la bordure ; le pyroxène forme une frange zonée de moins en moins riche en Al et Ti vers la matrice ; les grains sombres correspondent à anorthite et néphéline, puis viennent mélilite et spinelle. MEB × 1000.

Fine-grained CAI in Leoville

1. — Part of a large colloform inclusion viewed in transmitted light × 300. SEM details are found figures 1, 2, 3, 4 and 6. The inclusion may be considered as an association of spherules, or more probably as a glassy mass which has been fluid and very unstable. The blacks prove to be matrix which has been squeezed between the spherules or the convoluted glass as seen figure 3. The transparent zone on the left upwards is also viewed figure 2. It is an aluminous and sodic silicate, but, because of chemical variations from point to point, we cannot decide between nepheline and glass. In any case, sodium is here primary and not secondarily introduced. A little iron is present everywhere.

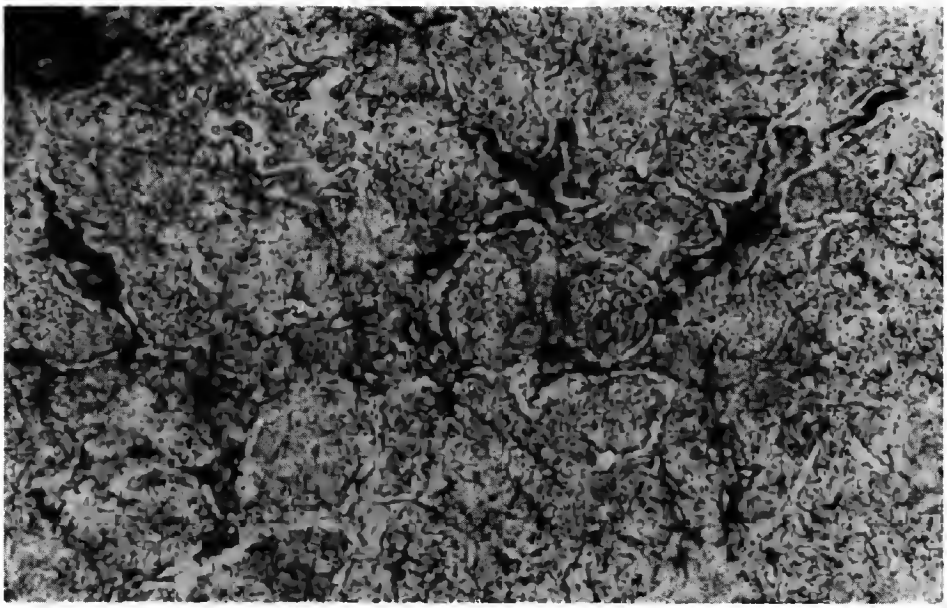
2. — The light grains in the sodic dark zone are Ti and Al rich pyroxenes. Against the CAI, on the left upward is a fine-grained polygonal olivine mass. SEM × 300.

3. — In the spherules are a little V and Cr bearing spinels and melilite ; between, some matrix. Detail of rim figure 6. SEM × 500.

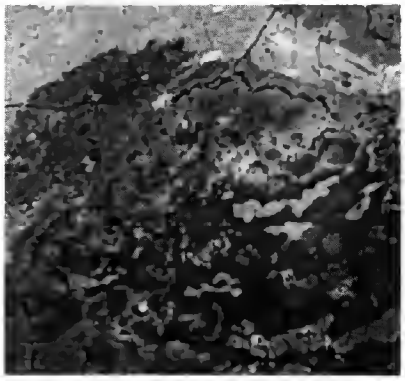
4. — The CAI gets a diverticulum which is nearly broken (arrow) but still remains at its place in spite of the compression. SEM × 50.

5. — Another convoluted inclusion seems to have lost fine globules in the matrix. SEM × 400.

6. — Details of the spherule rims. The pyroxene fringe gets more Al and Ti towards the spherule core than towards the matrix. The dark grains are anorthite and nepheline. Then, inside are melilite and spinel. SEM × 1000.

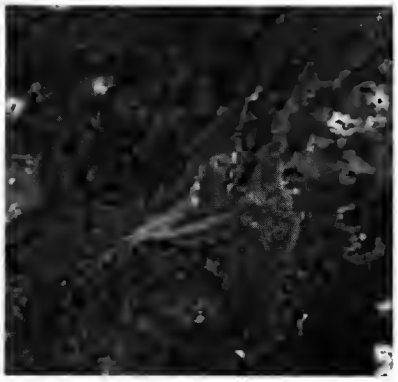


1

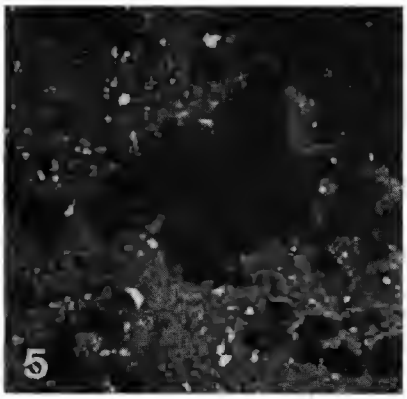


2

3



4



5

6

PLANCHE IX

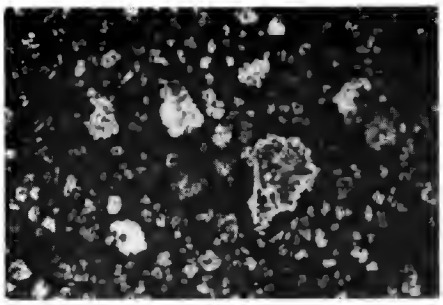
Planche X

Les enclaves

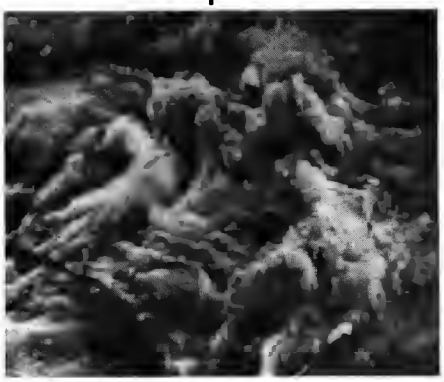
1. — Le type le plus fréquent d'enclave trouvé dans Allende. Tous les chondres et fragments sont pseudomorphosés en une olivine ferreuse. × 30.
2. — Enclave noire de Léoville. Aspect plissoté. MEB × 1000.
3. — Chondre à barre d'olivine dans l'enclave noire de Léoville de la figure 1, pl. I. La limite de l'enclave est soulignée par un trait noir. On remarque l'altération partielle de l'olivine ainsi que l'étirement de la matrice autour du chondre. MEB × 80.
4. — La magnétite dans l'échantillon de la figure 2 ; accumulation de globules, cube, rosette ovale sur section polie × 2000.
5. — Sphérolite de magnétite. MEB × 10000.

The xenoliths

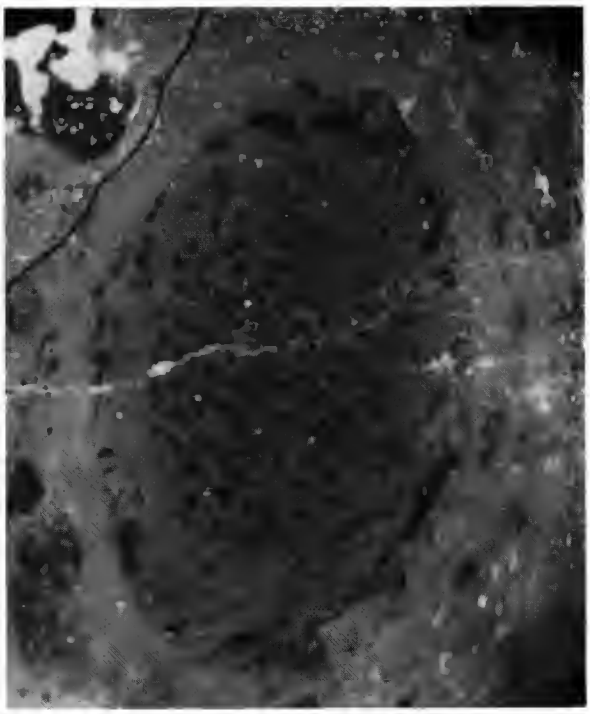
1. — The most frequent type of xenolith found in Allende. All the chondrules and fragments are pseudomorphosed in ferrous olivine. × 30.
2. — A black xenolith in Leoville and its folded aspect. SEM × 1000.
3. — A barred-olivine chondrule in the black xenolith of figure 1, pl. I. The boundary of the xenolith is underlined. We may notice the partial alteration of the olivine, and the flattening of the matrix around the chondrule. SEM × 80.
4. — The magnetite in the sample figure 2 ; grouping of tiny globules, a cube, an elongated spherolite. SEM on a polished section × 2000.
5. — Detail of a spherolite of magnetite in the clast of figure 2. SEM × 10000.



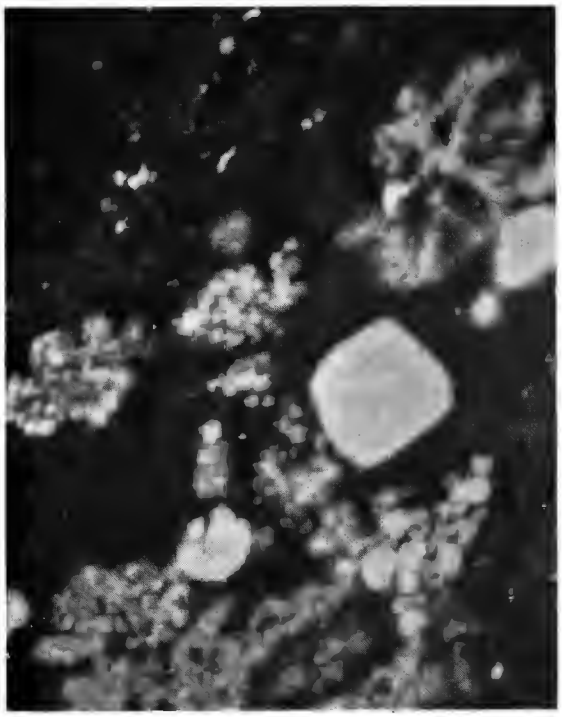
1



2



3



4

5

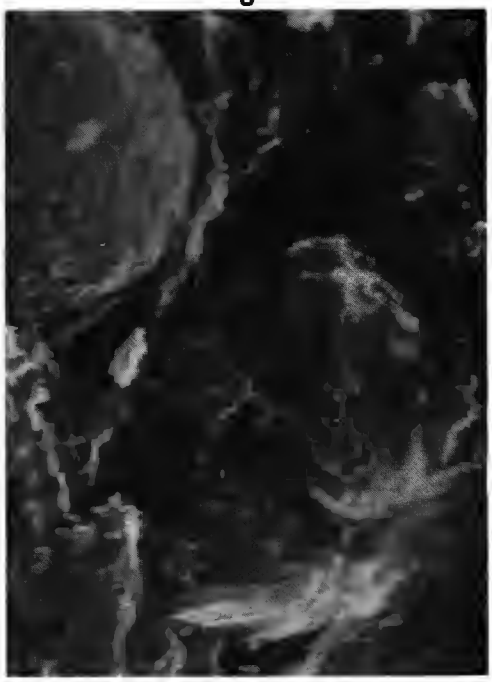


PLANCHE X

PLANCHE XI

1 et 2. — Deux régions voisines de la matrice de *Léoville* vues par microscopie électronique en transmission : 1 × 40000, cette zone ponctuée a donné trois anneaux de diffraction continus pouvant correspondre à la wüstite FeO ; 2 × 27000, cette zone microcristalline est surtout formée d'olivine.

3 et 4. — Le même objet dans la matrice d'*Allende* vu au MEB après métallisation au carbone à droite, puis remétallisé à l'or à gauche, presque dans la même position ; il apparaît, comme prévu, plus de détails sur l'image de gauche, les pustules déposées sur les cristaux se voient mieux ; celle désignée par une flèche est nettement plus grosse, ce qui permet de supposer qu'elle est revêtue d'une pellicule d'éléments légers, probablement carbonés, que la métallisation au carbone seul ne permet pas de mettre en évidence. La baguette en diagonale semble feuilletée et n'a pas de faces cristallines nettes, ce qui est très fréquent. MEB × 18000.

5. — Vue plus générale de la matrice d'*Allende* montrant l'abondance de débris ou de grains sans forme mêlés à des fuseaux d'olivine. MEB × 2250.

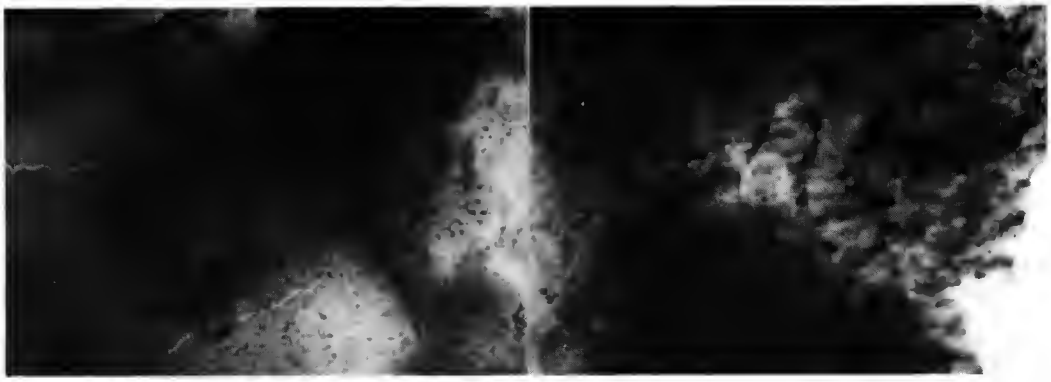
6. — Section polie d'un bord de l'inclusion d'*Allende* IAM5 formant un golfe arrondi ; une bande de gehlenite pauvre en spinelle est altérée à la limite du liseré rubané de bordure (vu à plus fort grossissement pl. VII, 5). Ce golfe est rempli de produits fins apparentés à la matrice mais plus calciques. MEB × 50.

1 and 2. — Two neighbouring spots of the Leoville matrix viewed by TEM : 1 × 40000, this punctuated area gave 3 continuous diffraction rings that may correspond to wüstite FeO ; 2 × 27000, this very fine-grained area gives punctuated diffraction rings many of which correspond to olivine.

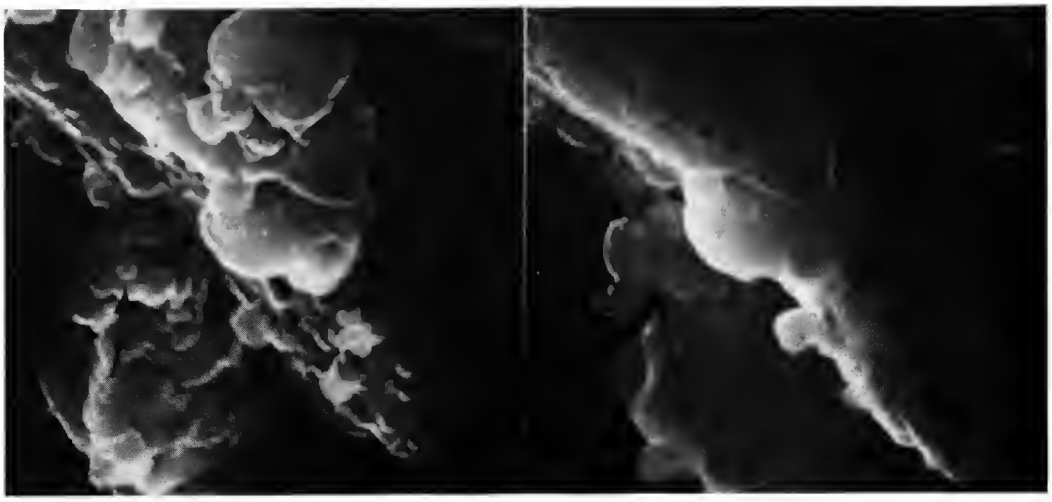
3 and 4. — The same object in Allende matrix after coating with carbon on the right, carbon + gold on the left, with nearly the same position. As predicted, more details are visible on the left namely the mounds deposited on crystals. The one indicated by the arrow is clearly larger on the left than on the right, which may imply that it is coated by a skin made of light elements, supposedly carbon rich, that the carbon artificially superimposed cannot underline. The lath obliquely crossing the picture seems to be leafly and doesn't get crystalline faces, which is very frequent. SEM × 18000.

5. — A more general view of Allende matrix showing how abundant are clasts and debris mixed with olivine spindles. SEM × 2250.

6. — On the gulf like boarder of the IAM5 Allende inclusion is a continuous band of gehlenite with few spinel crystals (black), which is altered towards the layered rim (enlarged pl. VII, 5). Fine-grained material, related to matrix but enriched mainly in calcium, is filling the gulf. SEM × 50.



1 2



3 4

5

6

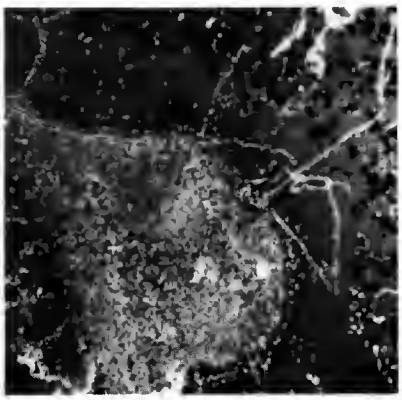


PLANCHE XI

PLANCHE XII

1 et 2. — Bord d'un chondre vu en lumière transmise (2) et au MEB (1). La région opaque de la figure 2 englobe halo et matrice, dont les limites sont soulignées. Le halo à grain fin ne contient pas de cristaux à contours géométriques. Il semble y avoir tout à la fois une ligne de démarcation et un passage progressif aux produits d'altération du chondre, mais avec barrage pour le carbone qui s'accumule dans le halo. *Allende*. 1, MEB × 1000 ; 2, lumière transmise × 700.

3. — Inclusion totalement altérée et transformée en produits fins ; au centre, une olivine au cœur encore forstéritique (gris foncé). Une telle inclusion est repérée au microscope en éclairage oblique parce qu'elle est claire, et non sombre comme la matrice. Sa texture permet de la différencier des inclusions microcristallines à olivine. En haut une « éponge » riche en silice, calcium et fer. *Allende*. MEB × 525.

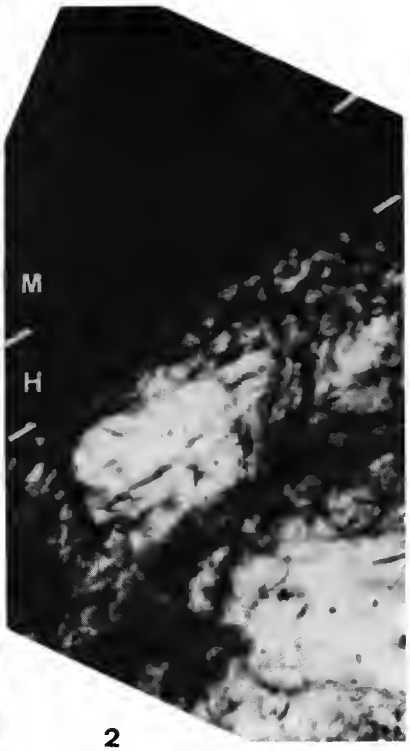
4. — L'inclusion très alumineuse 3529-42 contient une poche à grain fin où de petits rectangles d'olivine ferreuse sont nombreux ; la composition du matériau, intermédiaire entre celles de la matrice et de l'inclusion, pourrait être interprétée par l'assimilation partielle de la matrice par l'inclusion. *Allende*. MEB × 1000.

1 and 2. — A chondrule rim viewed in transmitted light (2) and with SEM (1). The opaque area of figure 2 corresponds to the halo and matrix, the limits of which are underlined. The fine-grained halo doesn't hold well defined crystals. It seems that there are both a boundary and a progressive passage towards the alteration products of the chondrule boarder, but that there has been a barrier for the carbon which accumulated in the halo. Allende. 1, SEM × 1000 ; 2, transmitted light × 700.

3. — A completely altered inclusion is transformed in fine-grained material ; in the center, an olivine crystal the core of which is still forsteritic (dark grey). Such an inclusion may be noticed with inclined light by its lighter albedo than that of the matrix. It can be differenciated from the fine-grained olivine inclusions by its texture. Above, a calcium, iron, silica rounded « sponge ». Allende. SEM × 525.

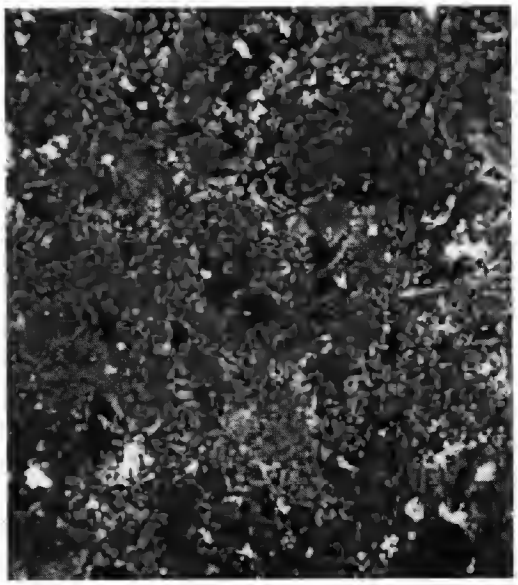
4. — In the highly aluminous inclusion 3529-42, a fine-grained pocket with small squares of iron-rich olivine gets a chemical composition intermediate between matrix and CAI, which could be understood as matrix being partially assimilated and cooked by the CAI. Allende. SEM × 1000.

1



2

3



4

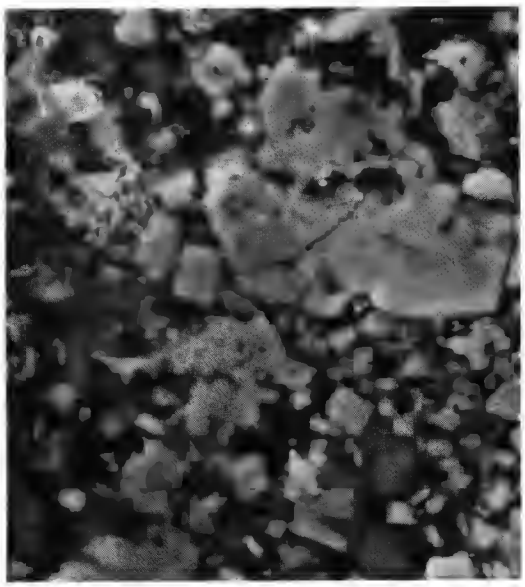


PLANCHE XII

Achevé d'imprimer le 30 mai 1986.

Le Bulletin du 4e trimestre de l'année 1985 a été diffusé le 28 avril 1986.

IMPRIMERIE NATIONALE

5 564 001 5

Recommandations aux auteurs

Les articles doivent être adressés directement au Sécrétariat du *Bulletin du Muséum national d'Histoire naturelle*, 57, rue Cuvier, 75005 Paris. Ils seront accompagnés : de la traduction du titre en anglais, d'un résumé en français et en anglais, de l'adresse du Laboratoire dans lequel le travail a été effectué (en note infrapaginale sur la première page).

Le *texte* doit être dactylographié à double interligne, avec une marge suffisante, recto seulement. Pas de mots en majuscules, pas de soulignages (à l'exception des noms de genres et d'espèces soulignés d'un trait). Il convient de numéroter les *tableaux* et de leur donner un titre ; les tableaux importants et complexes devront être préparés de façon à pouvoir être clichés comme des figures.

La liste des *références bibliographiques*, à la fin de l'article, devra être présentée par ordre alphabétique des noms d'auteurs, chaque référence étant indiquée ainsi : auteur, initiales du (ou des) prénom, date, titre d'article ou d'ouvrage (en entier), revue abrégée selon la *World list of Scientific Periodicals*, tome (souligné), numéro (entre parenthèses), deux points, pagination et illustrations.

Les *dessins et cartes* doivent être réalisés à l'encre de chine. Les *photographies* seront le plus nettes possible et tirées sur papier brillant. Tenir compte de la justification du Bulletin : 14,5 cm × 19 cm. L'auteur devra indiquer l'emplacement des figures dans la marge de son manuscrit. Les légendes seront regroupées à la fin du texte sur un feuillet séparé.

Tirés à part : 50 tirés à part seront fournis gratuitement par article. Les auteurs peuvent éventuellement commander des tirés à part supplémentaires qui leur seront facturés directement par l'imprimeur.

MÉMOIRES DU MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

Collection à périodicité irrégulière. Paraît depuis 1935. A partir de 1950, les Mémoires se subdivisent en quatre séries spécialisées : A, Zoologie ; B, Botanique ; C, Sciences de la Terre ; D, Sciences physico-chimique. (Format in-4°).

Dernières parutions dans la série C

T. 41 — Gaudant (Mireille). — Recherches sur l'anatomie et la systématique des Cténothrissiformes et des Pattersonichthyiformes (Poissons Téléostéens) du Cénomanien du Liban. 1978, 124 p., 57 fig., 10 pl. h.-t.

T. 42 — Lange-Badré (Brigitte). — Les Créodontes (Mammalia) d'Europe occidentale de l'Eocène supérieur à l'Oligocène supérieur. 1979, 249 p., 32 fig., 48 gr., 30 pl. h.-t.

T. 43 — Recherches océanographiques dans l'Océan Indien. (Entretiens du Muséum, Paris, 20-22 juin 1977.) 1979, 253 p., fig., pl.

T. 44 — Gayet (Mireille). — Contribution à l'étude anatomique et systématique des Poissons Cénomaniens du Liban anciennement placés dans les Acanthoptérygiens. 1980, 151 p., fig., 29 pl.

T. 45 — Lauriat-Rage (Agnès). — Les Bivalves du Redonien (Pliocène atlantique de France). Signification stratigraphique et paléobiogéographique. 1981, 175 p., fig., 16 pl.

T. 46 — Fröhlich (François). — Les silicates dans l'environnement pélagique de l'océan Indien au Cénozoïque. 1981, 208 p., fig., pl.

T. 47 — Loreau (Jean-Paul). — Sédiments argonitiques et leur genèse. 1982, 314 p., fig., pl.

T. 48 — Lauriat-Rage (Agnès). — Les Astaridae (Bivalvia) du Redonien (Pliocène atlantique de France). Systématique, biostratigraphie, biogéographie. 1982, 118 p., fig., 16 pl.

T. 49 — Colloque sur le Turonien. (Entretiens du Muséum, Paris, 26-27 octobre 1981.) 1982, 240 p., 61 fig., 8 tabl., 4 pl.

T. 50 — Rouchy (Jean-Marie). — La genèse des évaporites messiniennes de Méditerranée. 1982, 267 p. 72 fig., 18 pl.

T. 51. — Gayet (Mireille). — *Ramallichthys* Gayet du Cénomanien inférieur marin de Ramallah (Judée). Une introduction aux relations phylogénétiques des Ostariophysi. 1986, 119 p., 53 fig.

Ouvrages disponibles au Service de vente des Publications du Muséum,
38, rue Geoffroy Saint-Hilaire, 75005 Paris

MUSEUM
NATIONAL
D'HIST.NAT.